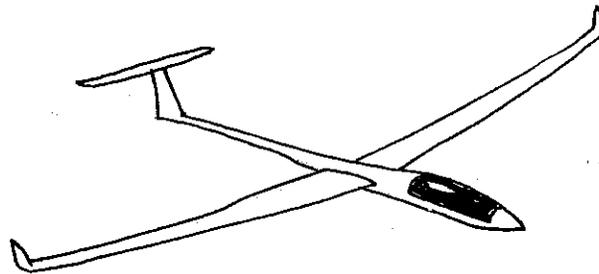


<http://savoir-sans-frontieres.com>



Che intendono dire esattamente  
con "fare flessioni" ?



Jean-Pierre Petit

# LEZIONI DI VOLO

Tradotto da: Elena Zanin

2008

# Conoscenza senza frontiere

Associazione senza scopo di lucro creata nel 2005 e gestita da due scienziati francesi. Obiettivo: diffondere la conoscenza scientifica utilizzando la banda tracciata attraverso i PDF scaricabili gratuitamente. Nel 2020 sono state così realizzate 565 traduzioni in 40 lingue. Con oltre 500.000 download.



Jean-Pierre Petit

Gilles d'Agostini

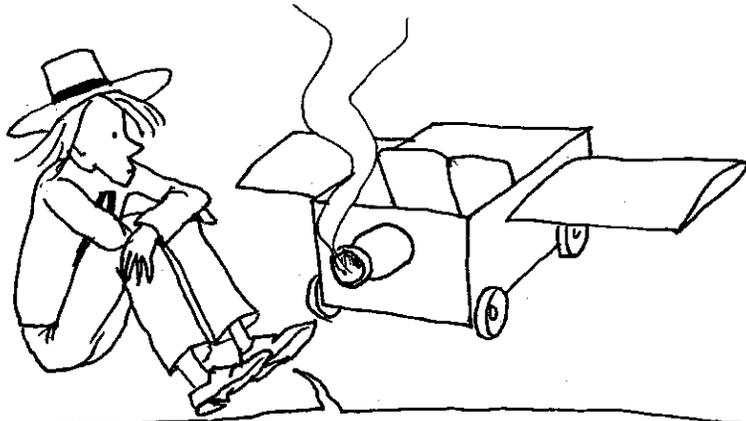
L'associazione è totalmente volontaria. Il denaro è stato interamente donato ai traduttori.

Per effettuare una donazione, utilizzare il pulsante PayPal sulla home page:

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



# IL VOLO PLANATO



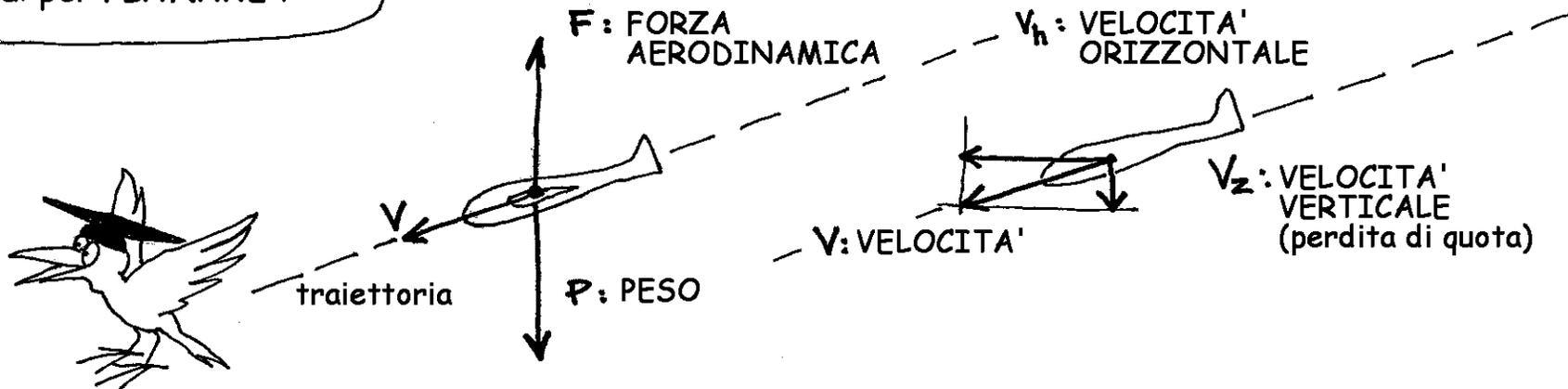
La propulsione a razzo é un sistema complicato, ed anche molto inquinante. Allora, nell'attesa di un nuovo tipo di motore, come posso fare per volare ?

Perché non sfrutti la forza di gravità ?



Non sei mica obbligato a cadere come un sasso. Puoi scendere **PLANANDO**, così scendi lentamente.

Che cosa intendi per **PLANARE** ?

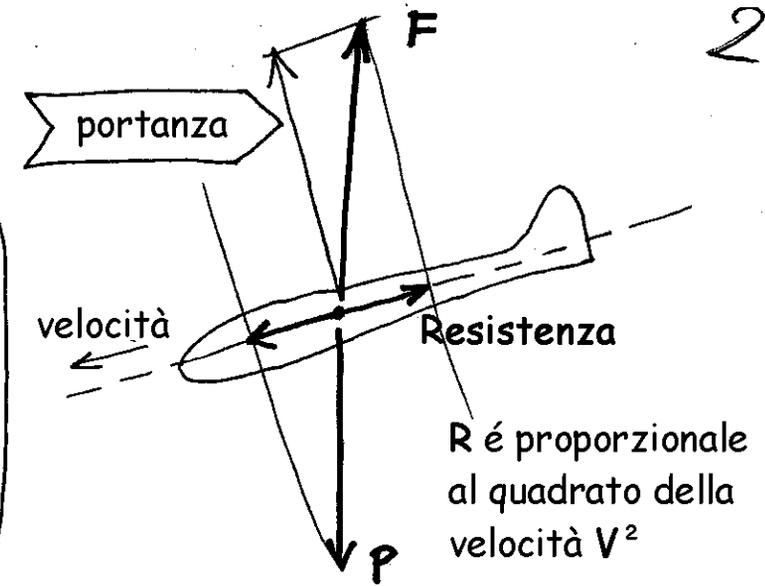


Possedendo delle **ALI** e muovendosi con una velocità **V**, possiamo creare una **FORZA AERODINAMICA F** proporzionale al quadrato **V<sup>2</sup>** di questa velocità.

Se ho ben capito il tuo schema, il peso  $P$  é direttamente opposto alla forza  $F$ .  
Ma come mai é cosi' ?



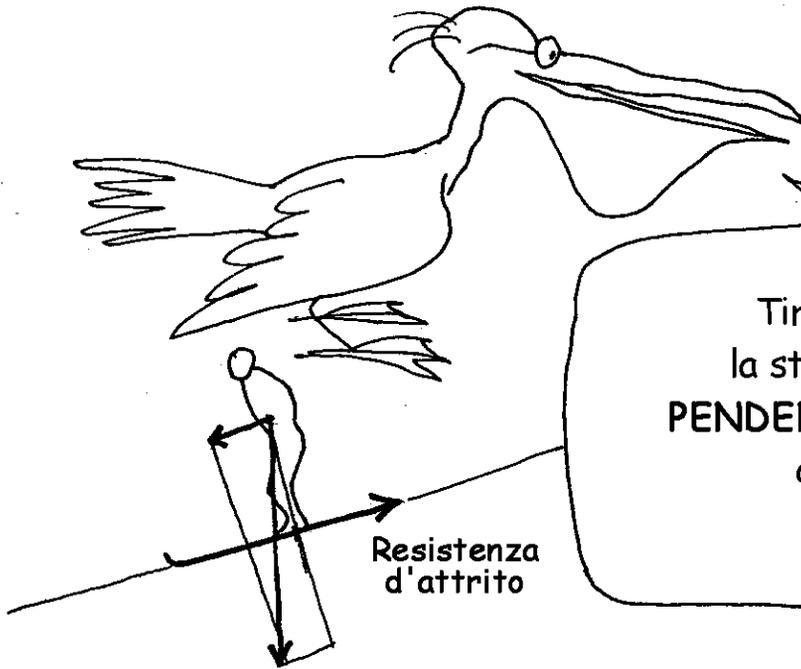
Rifletti : il disegno riproduce un **VOLO STABILIZZATO** ad una velocità  $V$  costante, che corrisponde ad un **ANGOLO DI DISCESA**  $\alpha$ . Il movimento del tuo **ALIANTE** (\*) é accompagnato da una forza di **RESISTENZA** che controbilancia la componente propulsiva del **PESO**.



Insomma, é il peso che ti fa volare.  
Veramente prodigioso.

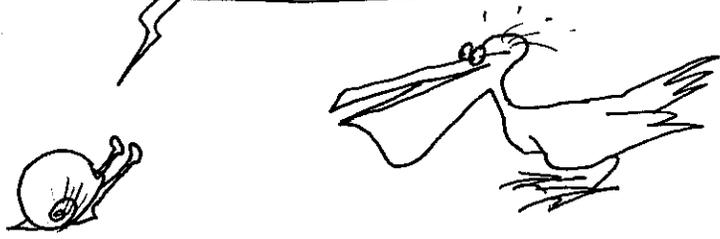


Tiresia, lo so che non ha mai provato a sciare, ma é esattamente la stessa cosa. E' la proiezione del vettore peso dello sciatore sulla **PENDENZA** della pista che lo fa scendere. In discesa, a velocità costante, questa forza motrice é equilibrata dalla forza d'**ATTRITO** degli sci sulla neve, che é proporzionale alla velocità  $V$ .

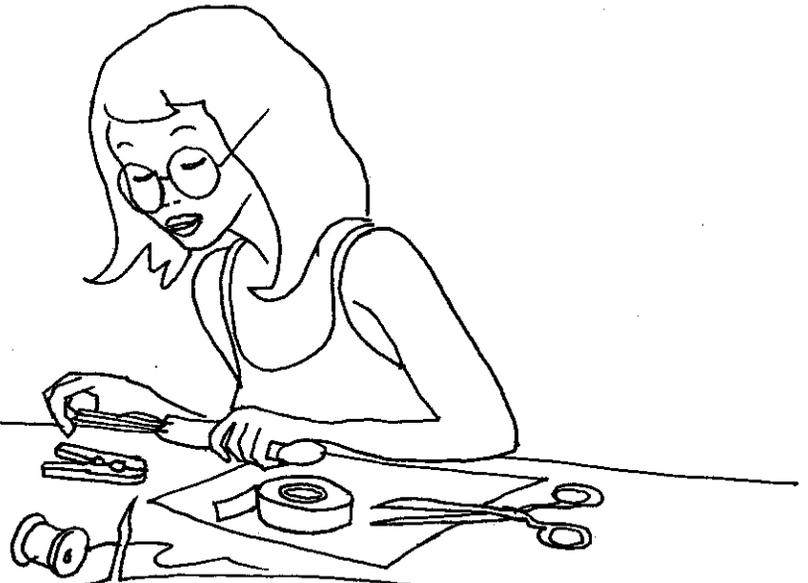


(\*) Che in inglese si chiama **GLIDER**, dal verbo "scivolare".

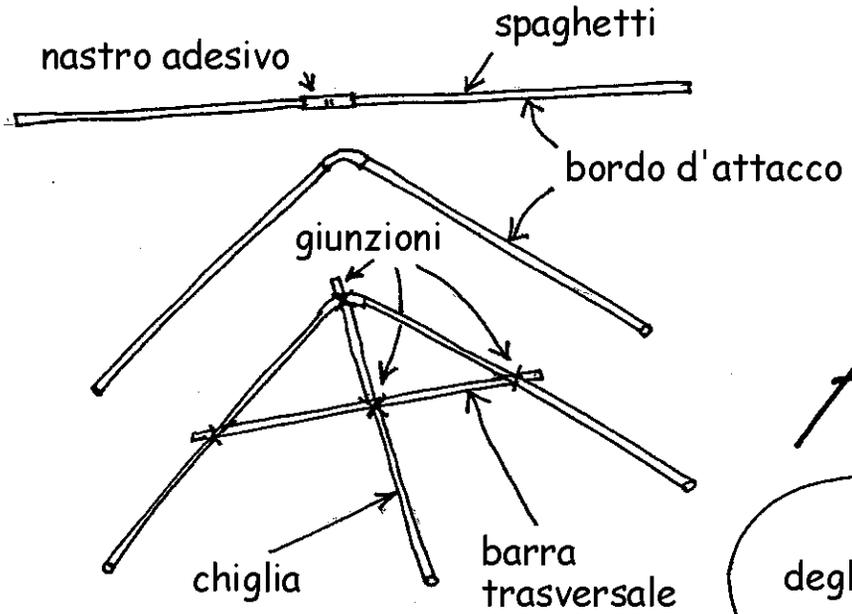
Ma, Leone, anche lei non sa sciare ?



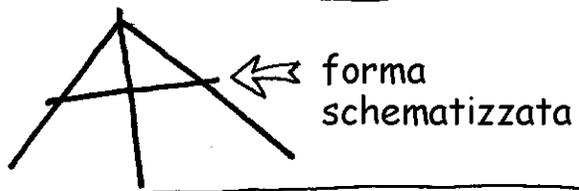
Guarda, Anselmo, proviamo a costruire un velivolo molto semplice con un foglio di carta, del nastro adesivo, degli spaghetti e una molletta da bucato.



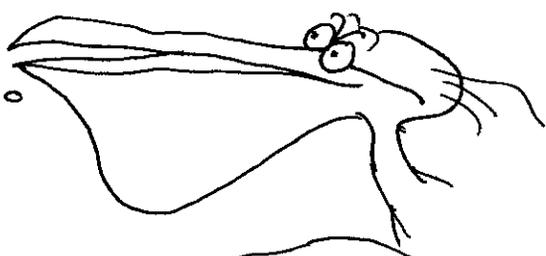
ed un rotolo di filo.

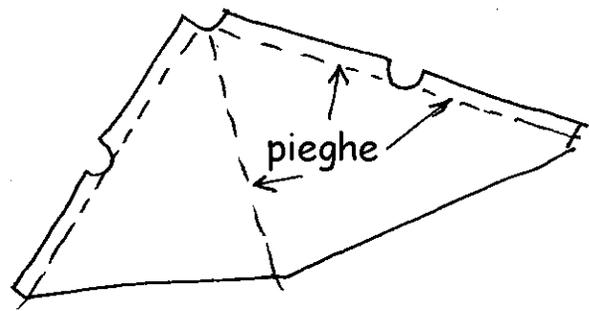


Astuzie da casalinga...

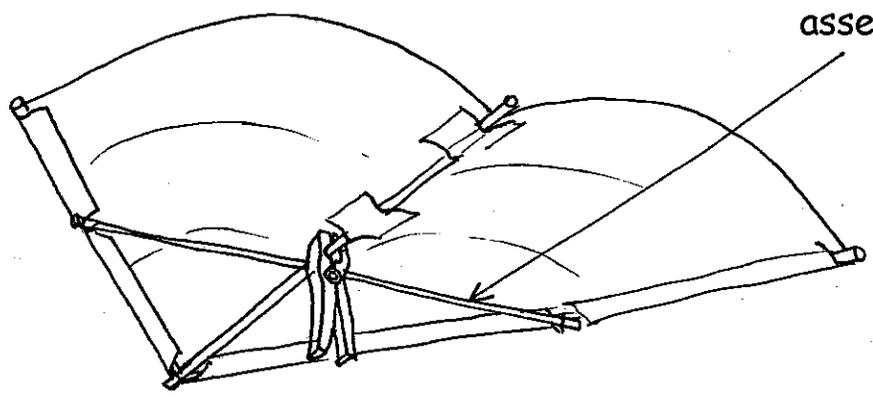


Costruiamo questa struttura con degli spaghetti saldati per mezzo del nastro adesivo e del rotolo di filo.

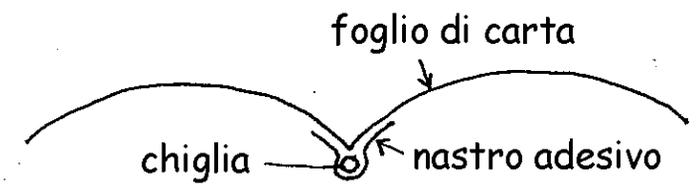
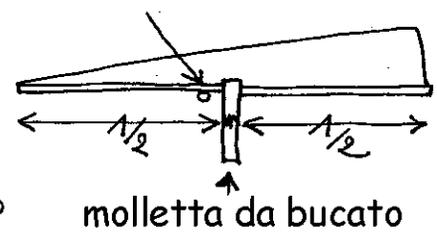




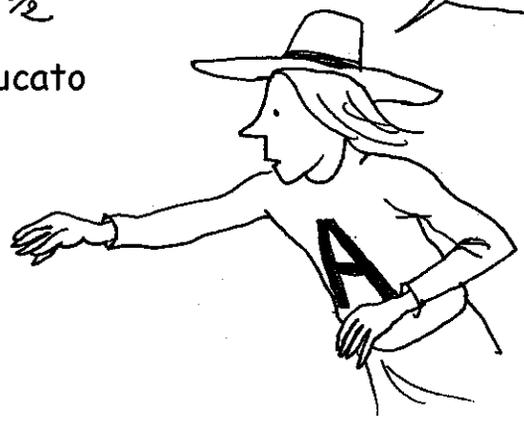
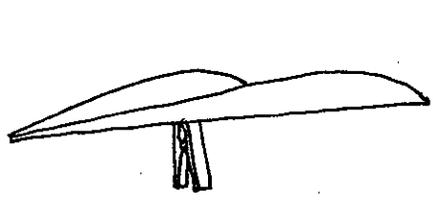
Fissazione della "vela" sulla struttura di sostegno tubolare



asse trasversale



Vola!



Regoli il **CENTRAGGIO** spostando avanti o indietro la molletta.

# DELTAPLANO

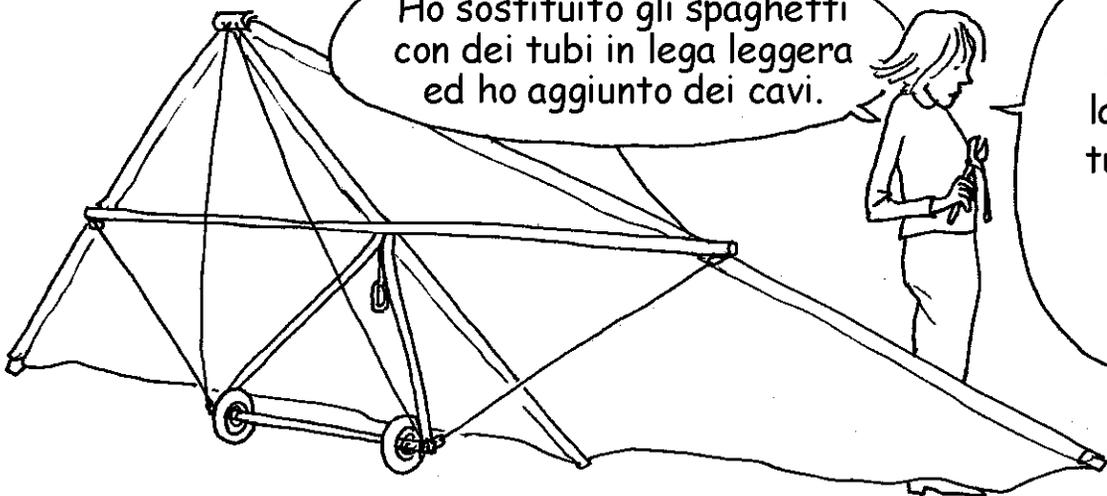
Ho sostituito gli spaghetti con dei tubi in lega leggera ed ho aggiunto dei cavi.

E siccome questo modello vola, basta sostituire la molletta da bucato. Ho costruito una struttura tubolare dotata di un **TRAPEZIO** che impugnero' con entrambe le mani. Così' potro' spostare la zavorra, cioè il mio stesso peso, a piacimento, avanti e indietro a destra e a sinistra.

Non sarebbe meglio aspettare che Sofia ci dica cosa ne pensa ?

Non dirmi che vuole lanciarsi con questo trabiccolo...

Povero ragazzo...





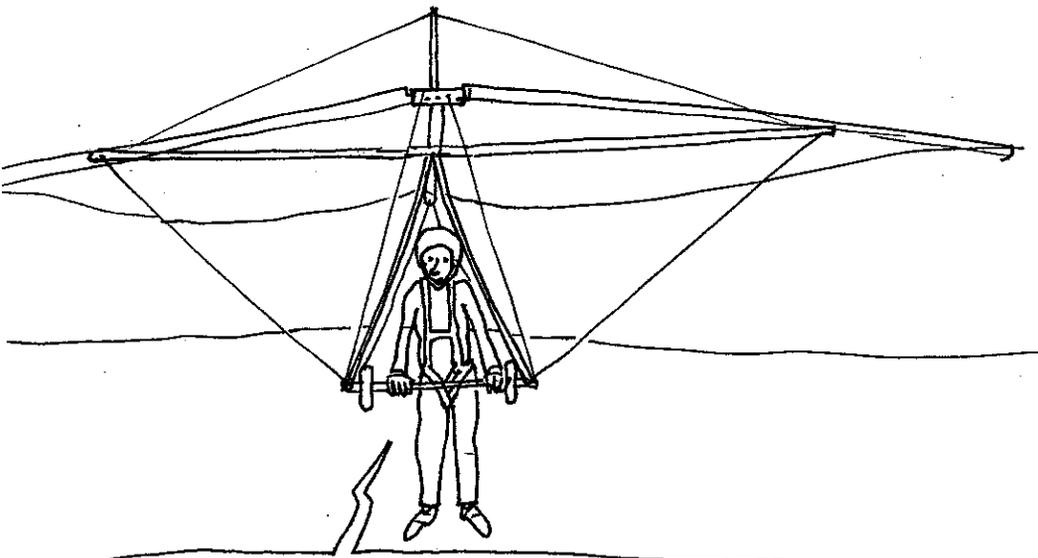
Non vedo il problema. E' identico agli spaghetti con la molletta da bucato.

Solo che la molletta sono io...

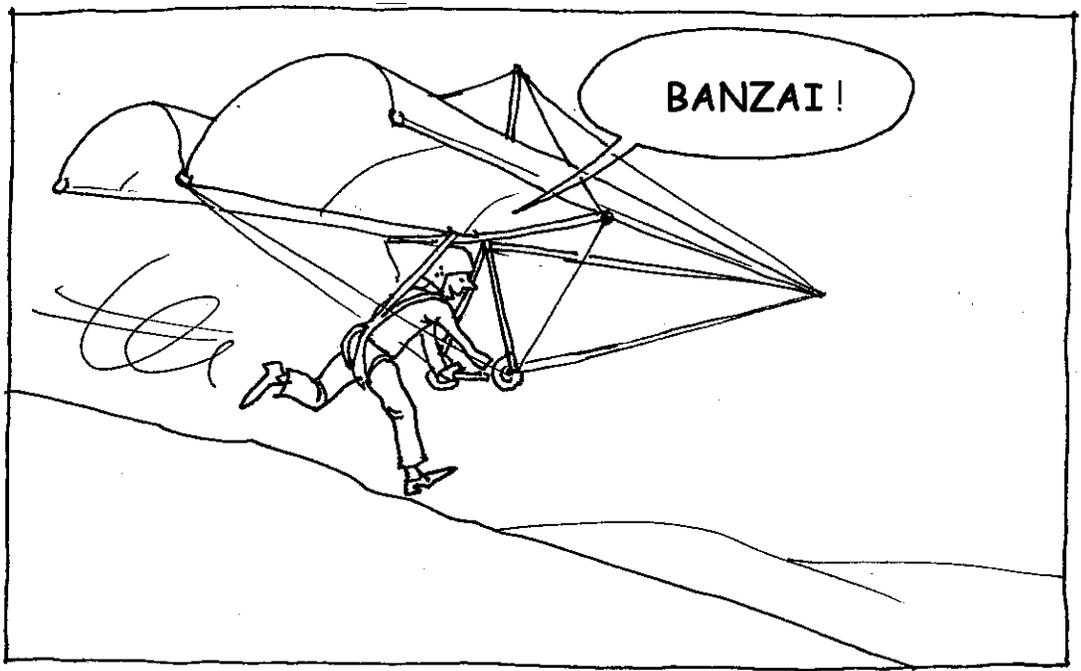


Mi aggrancio alla chiglia con questo moschettone.

Ho pensato anche alle ruote per l'atterraggio.

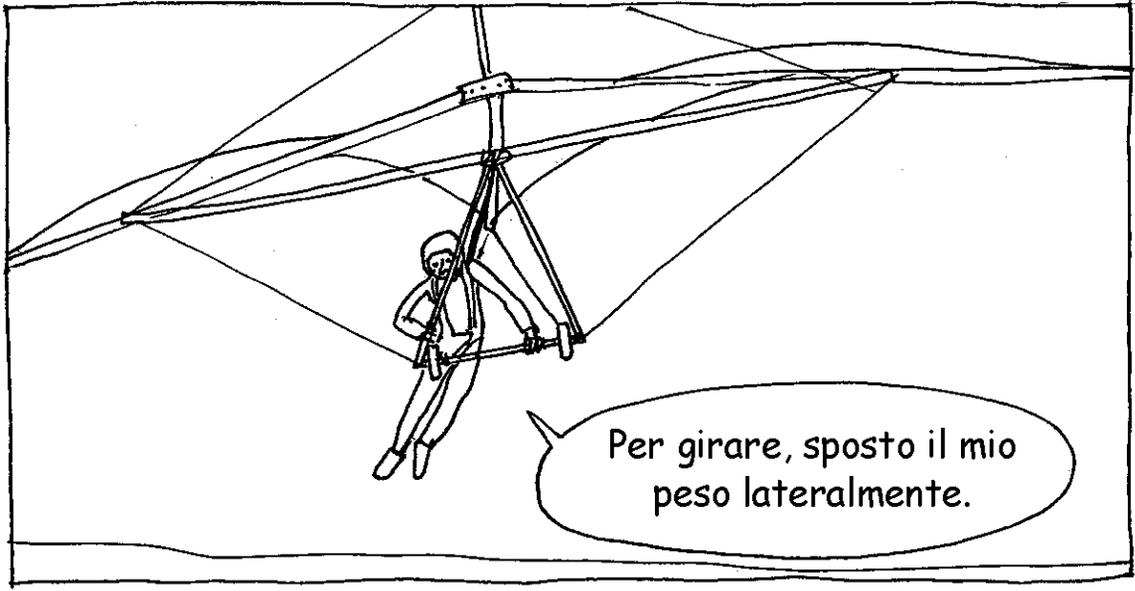


Vediamo... questa discesa mi sembra simpatica, pronti...



BANZAI!

Funziona !!!



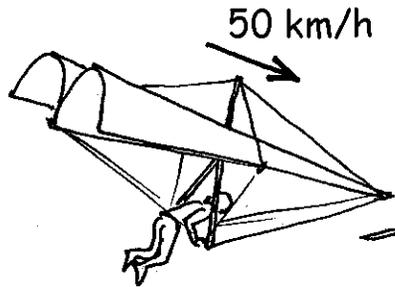
Per girare, sposto il mio peso lateralmente.



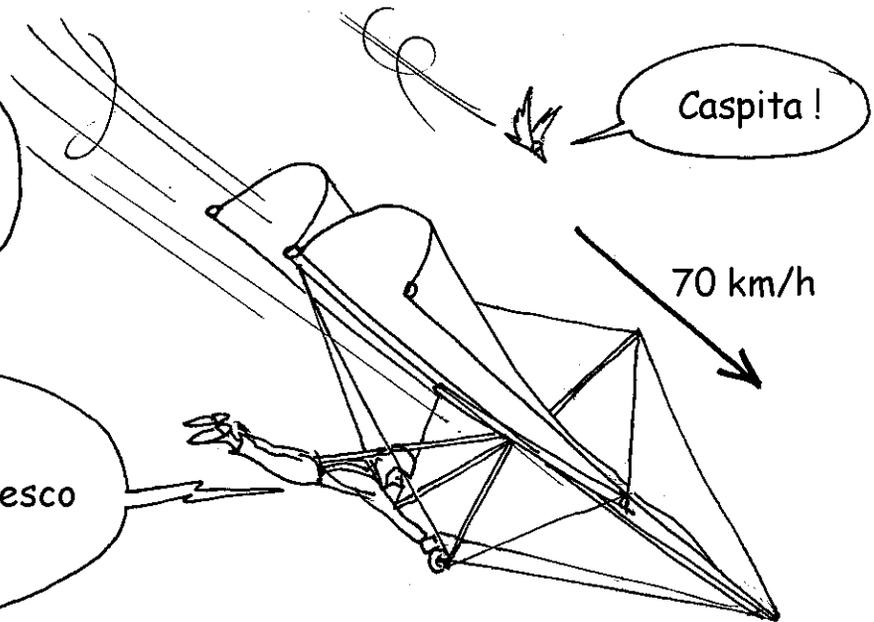
In volo orizzontale:  
perdita di quota 2,5 m/s.  
In virata, forte derapata verso  
l'interno e 3,5 m/s di velocità  
di caduta.

Efficienza 3.  
Poco meglio di un ferro da stiro.

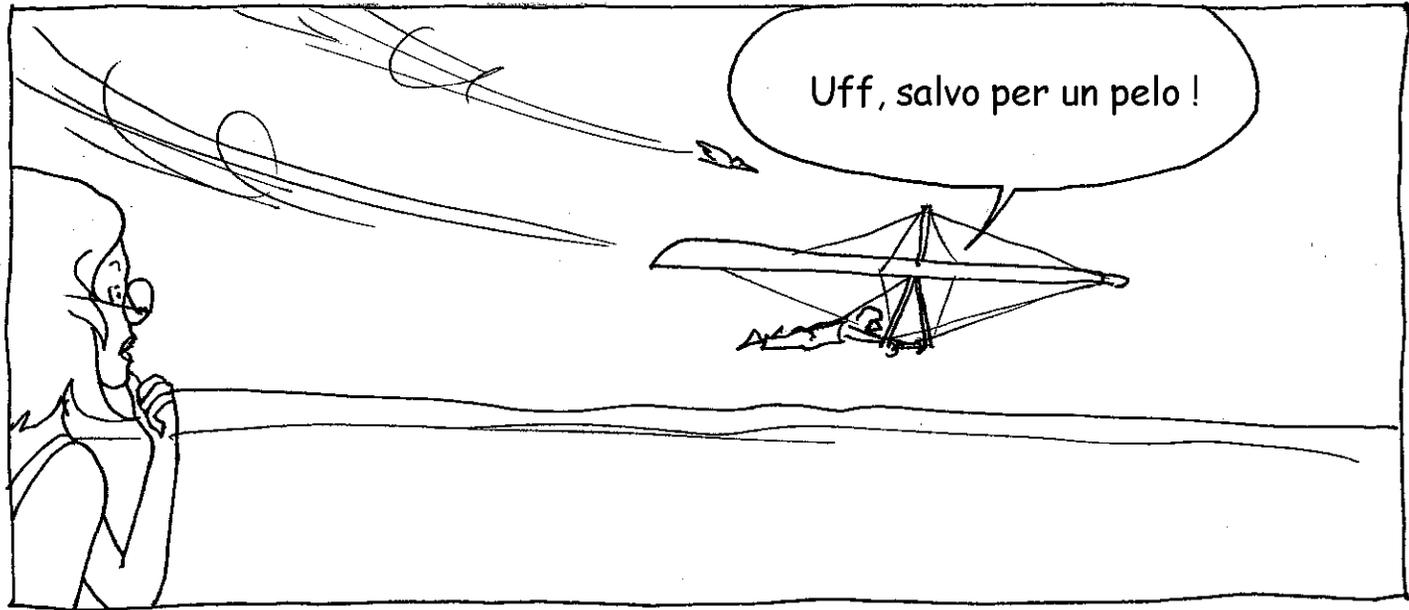
# AUTOSTABILITÀ



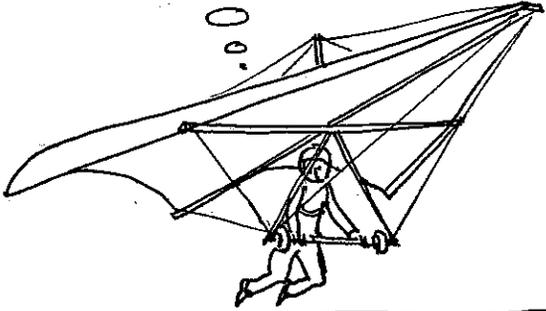
Peso in avanti.  
Acquisto velocità. Vediamo  
come reagisce il velivolo !



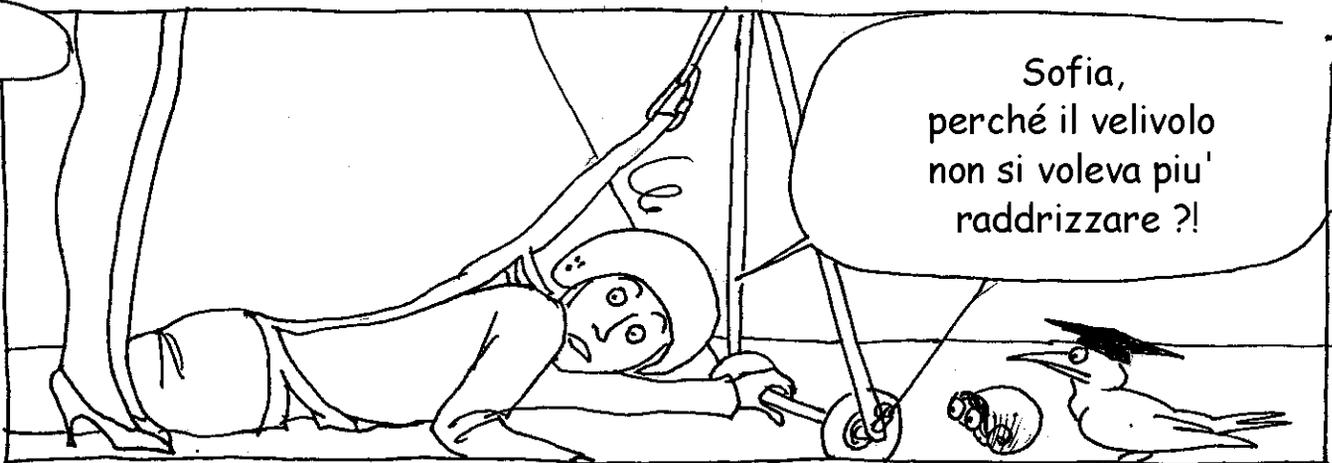
**ACCIDENTI !**  
Acquisto velocità e non riesco  
a raddrizzare !



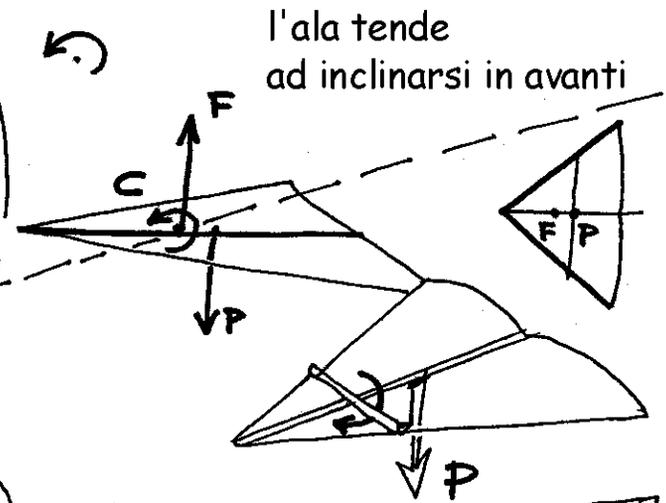
Cabrare per diminuire la velocità.



Sofia, perché il velivolo non si voleva più raddrizzare?!



Anselmo, ricordati la prima parte di quest'album: la **PORTANZA** si crea solo a discapito di una certa tendenza a picchiare che bisogna controbilanciare in qualche modo. Nel tuo **DELTA PLANO** sei agganciato al centro della chiglia. Ma la risultante delle forze aerodinamiche si situa a 40% (\*), quindi è il tuo peso **P** che, essendo arretrato, impedisce alla tua ala di picchiare.

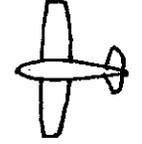


Ho creduto che ci sarei rimasto.



Lo spostamento del peso **P** all'indietro crea una coppia di richiamo che controbilancia la coppia picchiante di origine aerodinamica.

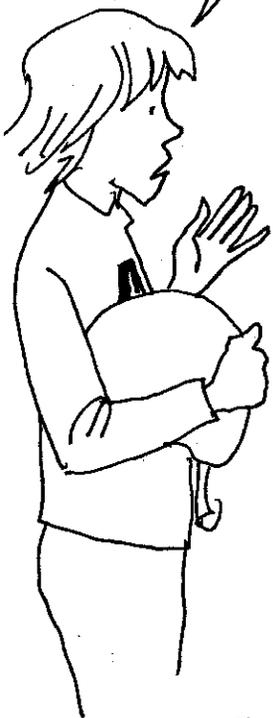
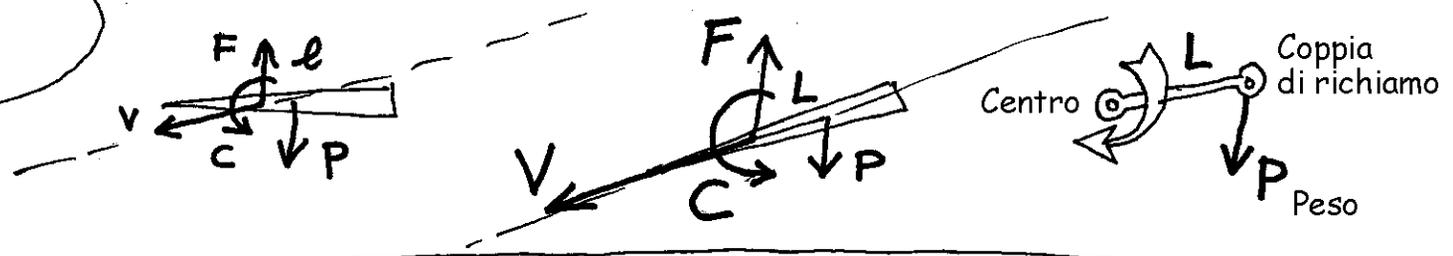
(\*) In un'ala DESTRA



la forza aerodinamica **F** si esercita a 25% del profilo.



Ma perché il velivolo non si voleva raddrizzare ?



Rifletti, la coppia di richiamo dovuta allo spostamento del tuo peso é  $P \times L$ . Controbilancia la coppia picchiante  $C$  che, come tutti i parametri aerodinamici : **PORTANZA, RESISTENZA**, la cui somma costituisce la **FORZA AERODINAMICA F (\*)** che si esercita al **CENTRO** aerodinamico dell'ala, é proporzionale al quadrato della velocità  $V^2$ . Con il tuo deltaplano, se vai in picchiata ed acceleri, aumenterai il valore della coppia picchiante, e non arriverai più a controbilanciarlo con la tua **COPPIA CABRANTE  $P \times L (**)$** .



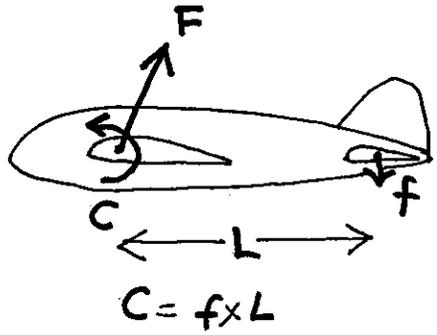
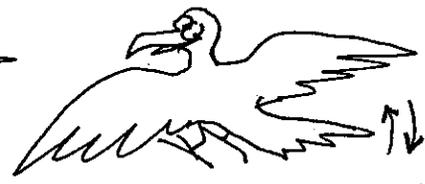
Ci é mancato poco ad Anselmo per non uscire dal suo **CAMPO DI MANOVRA** e trovarsi con un velivolo **IMPILOTABILE !**

Ma é un problema gravissimo ! Che cosa si puo' fare ?



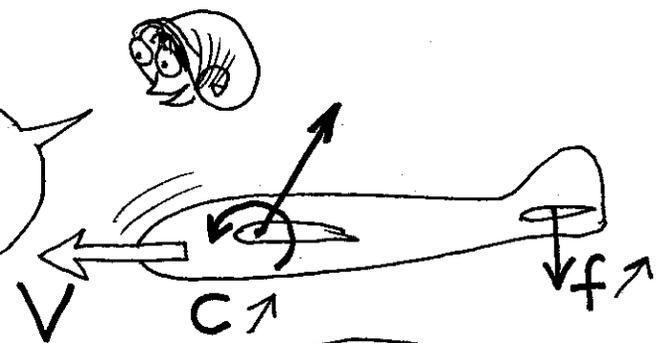
(\*) Nei manuali si chiama **RISULTANTE DELLE FORZE AEREODINAMICHE** e si indica con **R**.  
 (\*\*\*) L'inconsapevolezza di questo fenomeno ha causato molti incidenti mortali negli anni 70.

Siccome il problema é aerodinamico bisogna trovare una soluzione aerodinamica. E' cio' che Sofia aveva suggerito ad Anselmo nella prima parte di quest'album con l'**IMPENNAGGIO**.



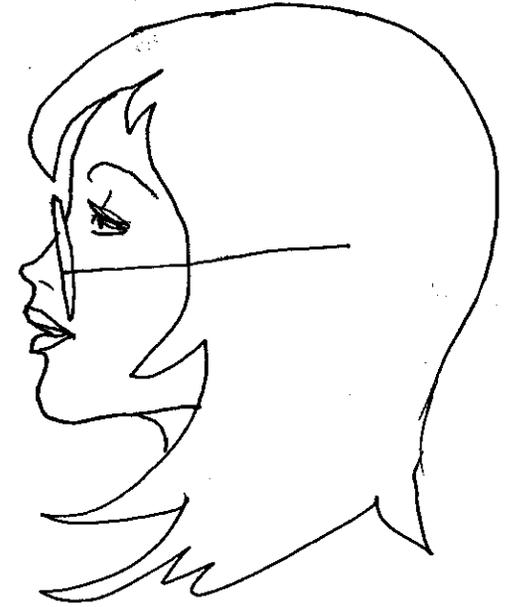
Un impennaggio orizzontale a portanza leggermente negativa controbilancia il momento picchiante dell'ala grazie al lungo braccio di leva costituito dalla fusoliera.

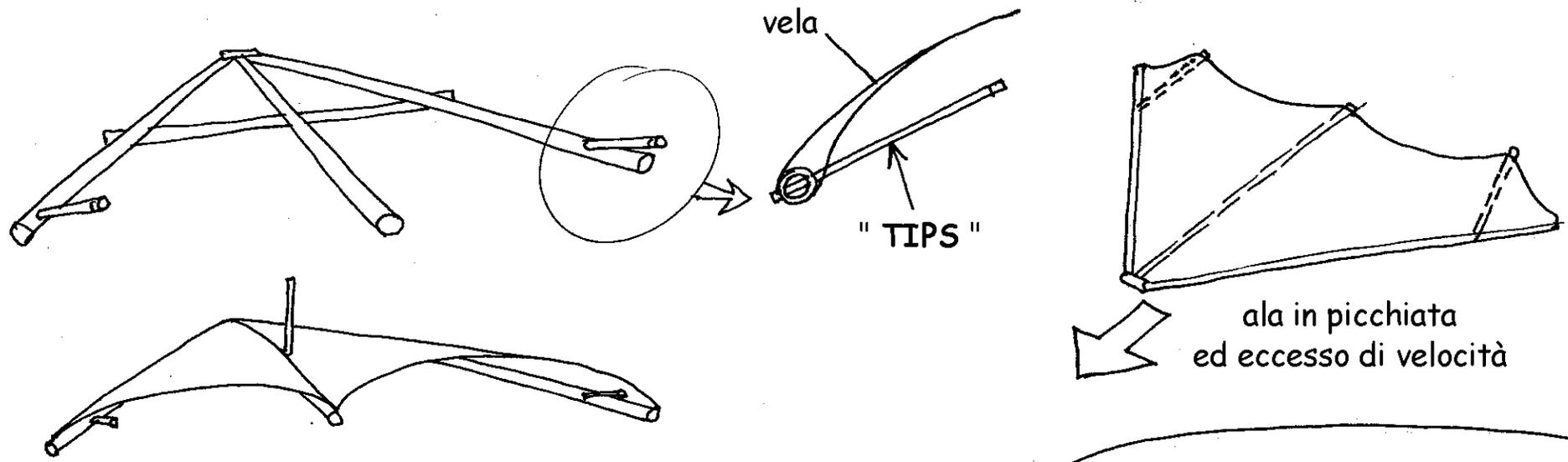
Questo sistema é peraltro **AUTOSTABILE**. Se la velocità aumenta, il velivolo tende a sbilanciarsi in avanti, per effetto dell'aumento della coppia picchiante  $C$ , che varia proporzionalmente a  $V^2$ . Ma questo effetto é subito compensato dalla crescita della **DEPORTANZA**  $f$ .



Allora basterebbe mettere un impennaggio al mio deltaplano ?

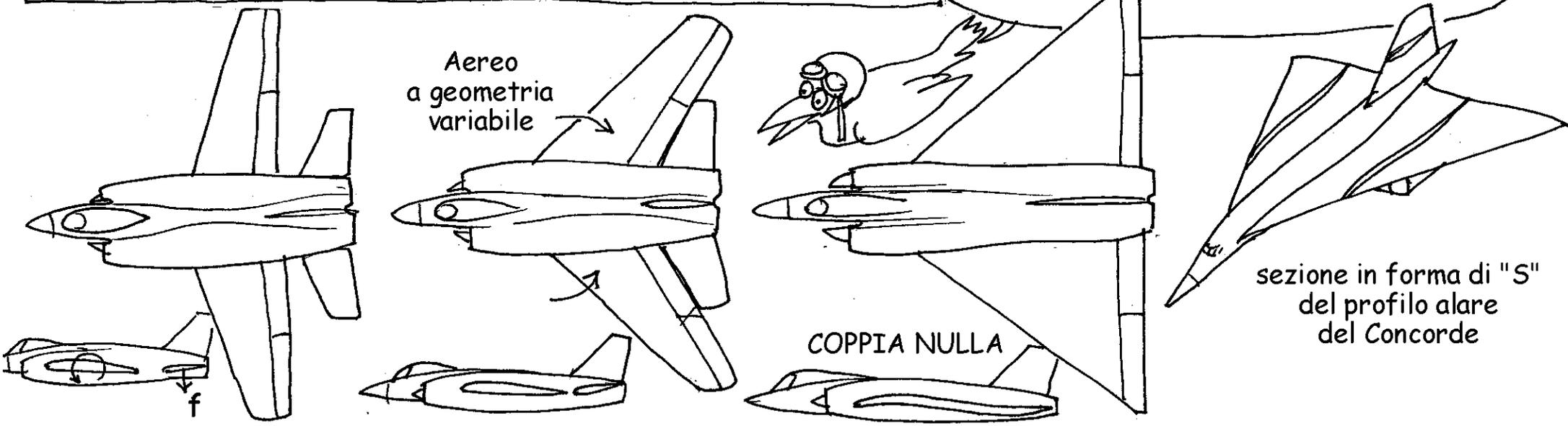
Effettivamente potresti farlo, ma c'è un sistema più semplice per garantire la tua sicurezza.



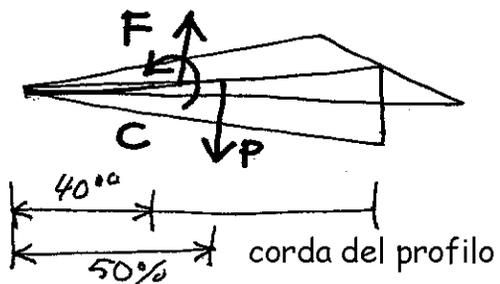


Questi dispositivi chiamati "TIPS" non toccano la vela durante un volo in assetto normale, ma in caso di eccesso di velocità o picchiate pericolose, mantengono sollevata la parte posteriore della vela e permettono al velivolo di raddrizzarsi automaticamente (\*).

Per i velivoli con ali rigide, li si rende autostabili (volo con momento picchiante nullo) incorporando l'impennaggio alla vela e dotandoli di un profilo in forma di "S".



Un classico aereo di carta vola come un deltaplano. Il centro di gravità è ovviamente al centro, invece il centro aerodinamico è a 40% della lunghezza del profilo. La coppia di richiamo dovuta al peso controbilancia la coppia picchiante che è legata alla portanza. In forte picchiata non riesce più a raddrizzare.



Possiamo creare un profilo autostabile piegando leggermente il muso e alzando (molto leggermente) la coda. Conferiamo così all'aereo un profilo in forma di S che gli permette inoltre di volare più lentamente.

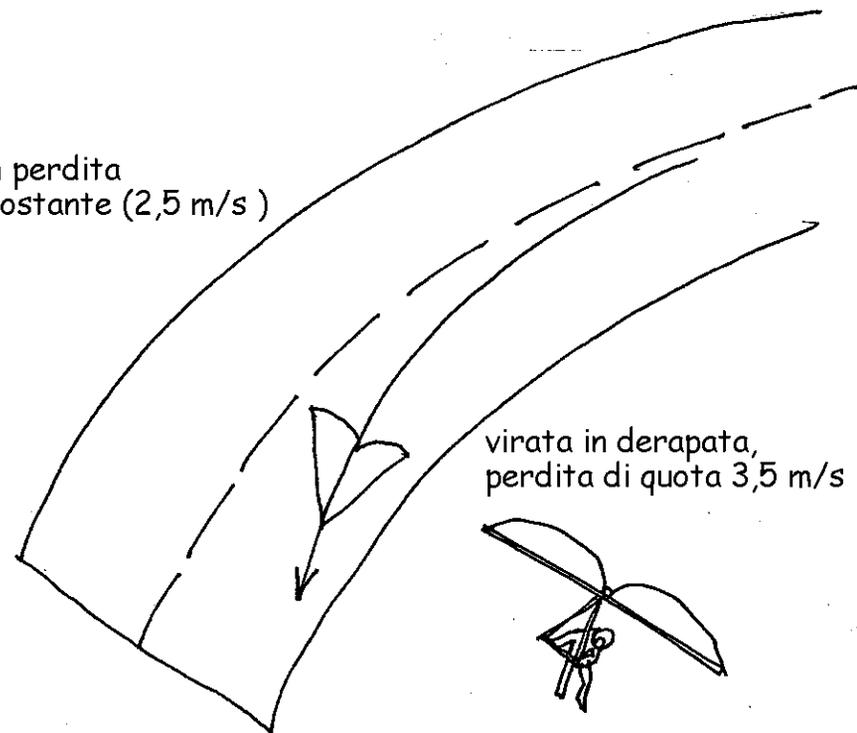


*La Direzione*



Ma il tuo velivolo ha un grosso difetto.  
Per girare, devi spostare il tuo peso verso l'interno della curva e allora subisci un forte **DERAPAGGIO** verso l'**INTERNO**.  
La **PERDITA DI QUOTA** passa a 3,5 m/s.

virata con perdita di quota costante (2,5 m/s)



(\*) Questi semplici dispositivi sono estremamente efficaci.

# COME FANNO GLI UCCELLI A CURVARE ?



Potremmo metterci un impennaggio verticale, con un timone mobile. Ma gli uccelli ed i pipistrelli non ne hanno. E nonostante cio' arrivano tutti ad effettuare curve molto strette. Come fanno ?

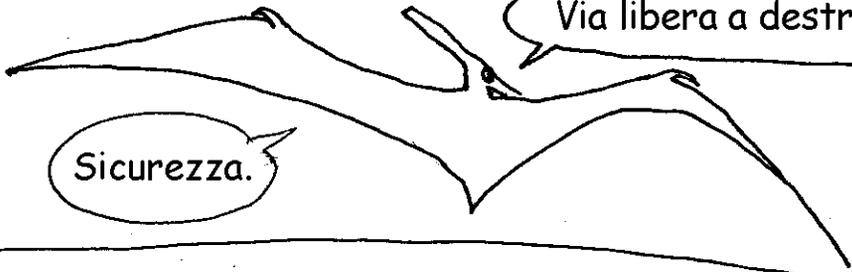
Lo pterodattilo, il pipistrello, l'avvoltoio ed il passero non hanno bisogno di impennaggio verticale per effettuare una curva.



Dispiegando un'ala e ripiegando l'altra, si creano due effetti:  
le superfici delle due ale si modificano. L'ala in estensione avrà il suo bordo d'uscita che si abbassa ed avremo il fenomeno inverso per l'ala ripiegata.



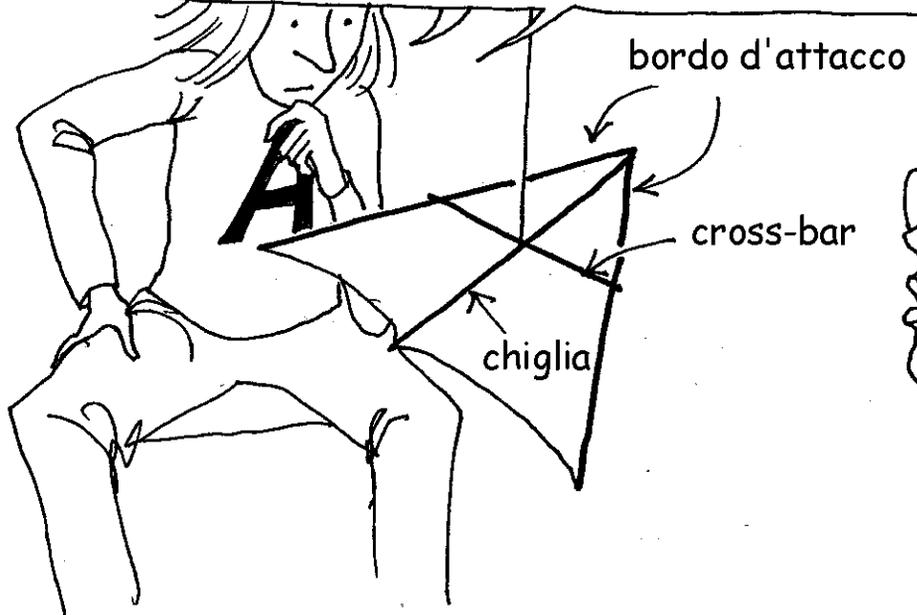
Pterodattilo che vola orizzontalmente visto da dietro



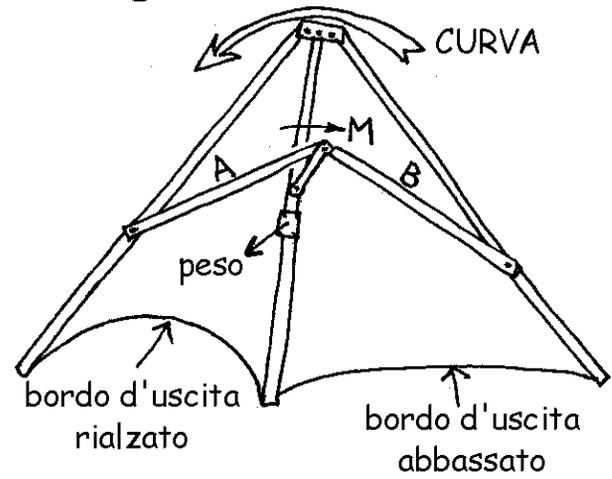
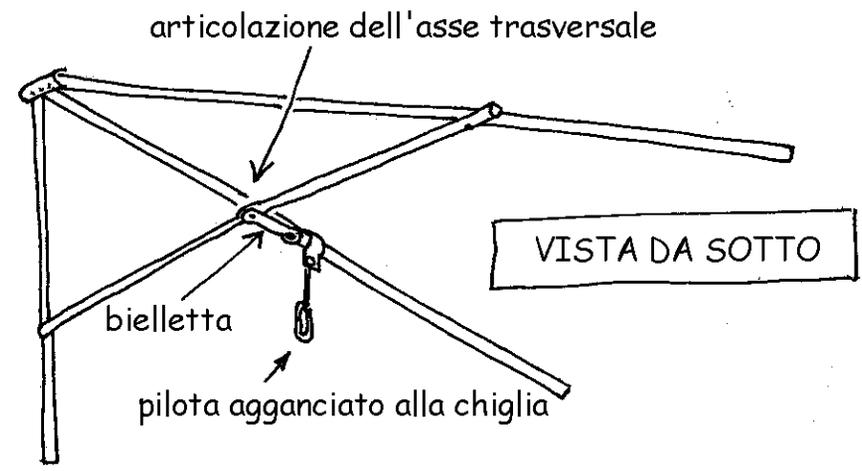
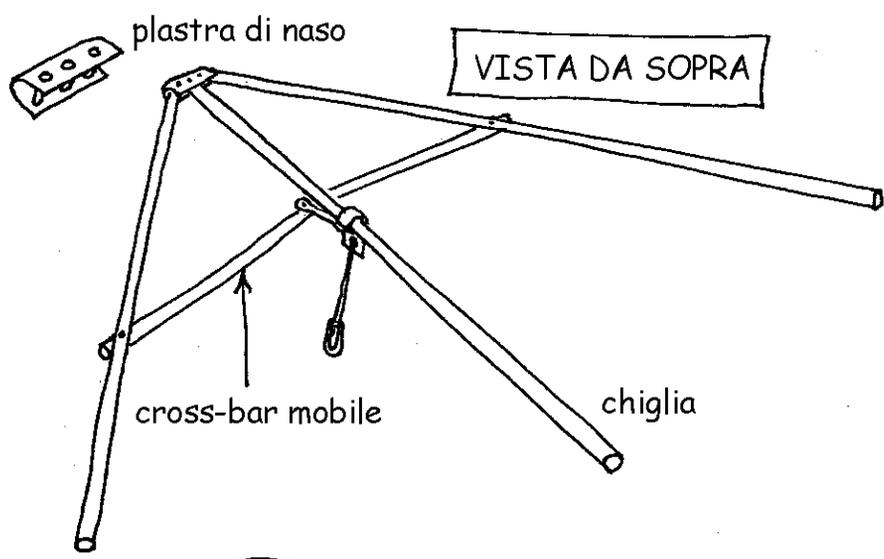
Via libera a destra, si gira.

Sicurezza.

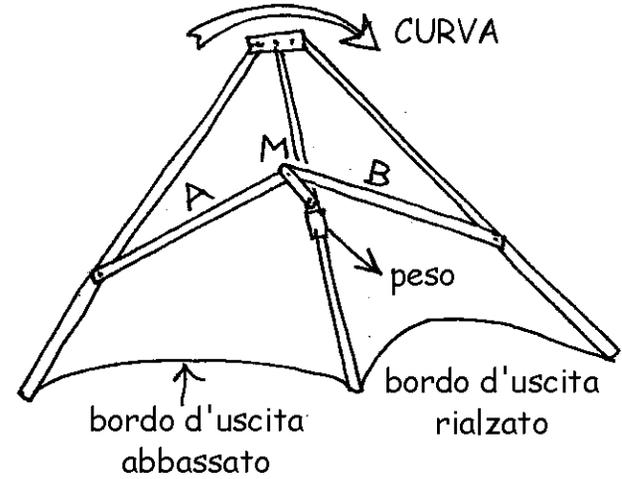
Carino, ma come fare per dispiegare un'ala e ripiegare l'altra, anche se leggermente ?



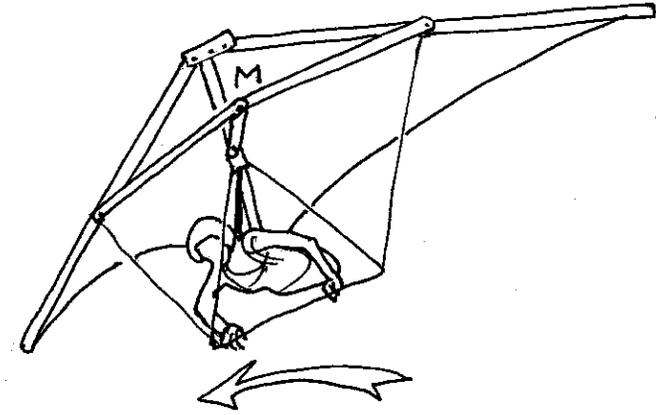
Basta rendere mobile la giunzione tra chiglia e cross-bar.



VISTA DA SOTTO



VISTA DA SOTTO



CURVA A DESTRA

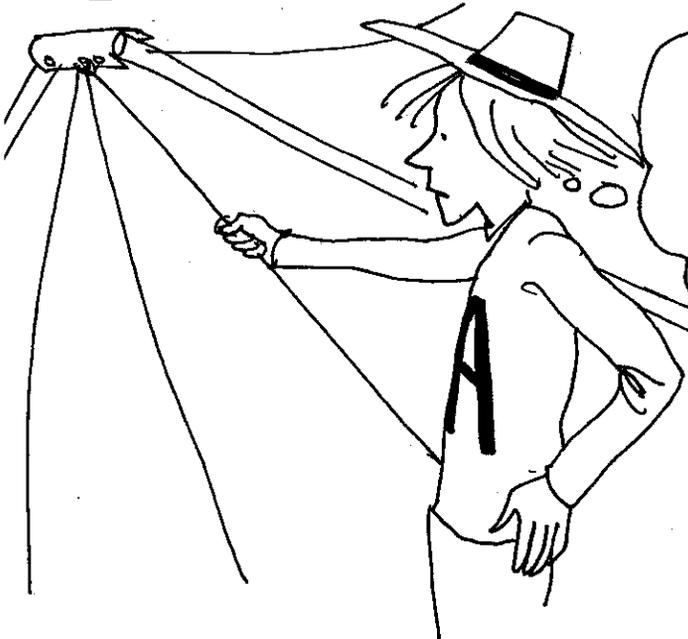
Questo sistema detto del "cross flottante" é molto ingegnoso, permette al pilota, utilizzando il proprio peso, di spostare la chiglia rispetto all'articolazione che la lega ai due semi-assi trasversali A e B, di lunghezza uguale. Uno spostamento di qualche centimetro permette di effettuare delle curve strette.

La Direzione.

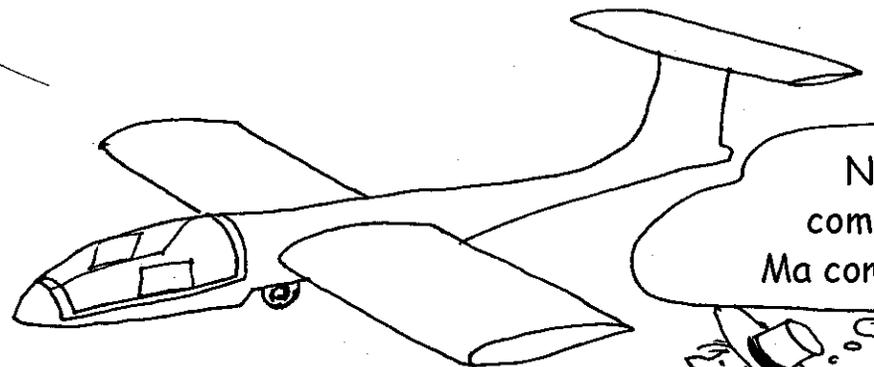


Se voglio fabbricare un **VELIVOLO** con delle buone prestazioni, devo eliminare tutte le cause di dispersione energetica. Quindi innanzitutto la **TURBOLENZA**. Se il mio velivolo, spostandosi, lascia dietro di sé delle masse d'aria in movimento, si ha un notevole spreco d'energia.

Logico...



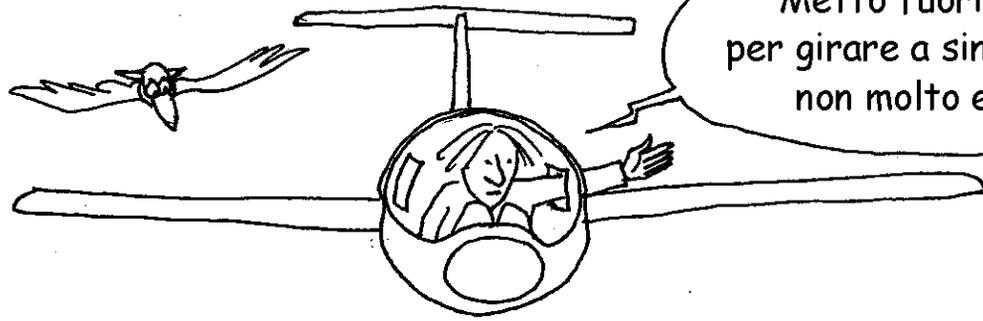
Tutti questi cavi aumentano notevolmente la **RESISTENZA** : bisogna eliminarli. Il pilota : all'interno della struttura. Delle pareti lisce e senza asperità. Devo ricominciare da capo.



Non male come trovata. Ma come si pilota ?



Mi posso spostare all'interno della cabina, avanti o indietro per cabrare o picchiare. Ho messo delle finestre da entrambi i lati così posso curvare mettendo le braccia fuori. Ma non è per niente efficace ed inoltre crea della turbolenza, proprio ciò che voglio evitare.

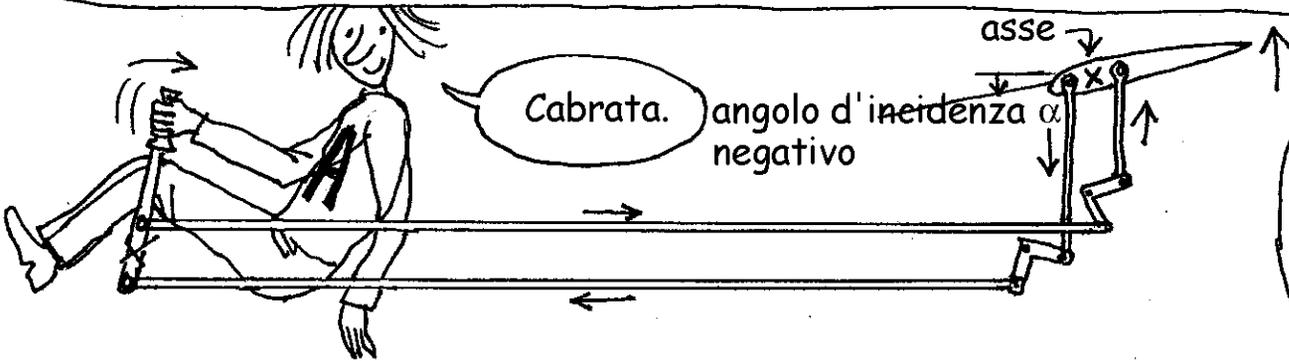


Metto fuori il braccio per girare a sinistra. Hmm... non molto efficace!

Invece...



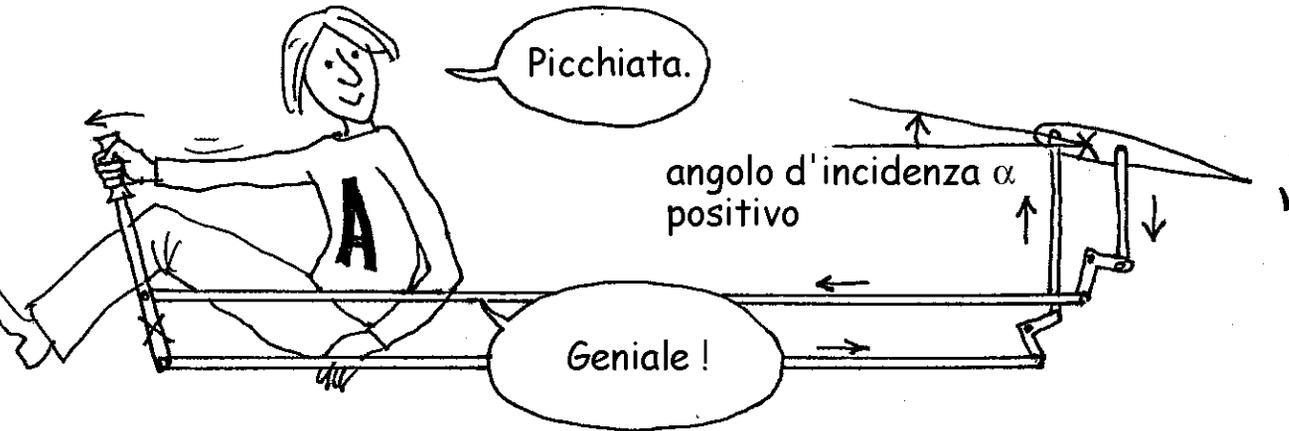
Guarda un po' .... interessante. Quando giro la mano cosi', come se fosse un'ala, e cambio quindi l' **ANGOLO D'INCIDENZA  $\alpha$** , la forza cambia proporzionalmente. Devo provare a costruire un impennaggio orizzontale in cui posso variare l'angolo  $\alpha$  a volont .



Cabrata.

angolo d'incidenza  $\alpha$  negativo

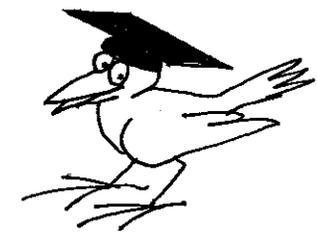
Grazie a questi **LEVERAGGI**, Anselmo puo' manovrare a distanza il piano orizzontale del suo velivolo con un semplice **MANICO DI SCOPA**.



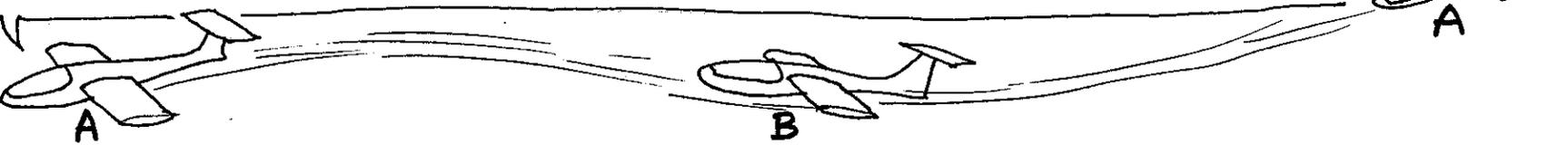
Picchiata.

angolo d'incidenza  $\alpha$  positivo

Geniale!



Fantastico! Grazie alla mia barra di comando o **CLOCHE**, posso picchiare o cabrare a piacimento. E controllare così rapidamente l'**ASSETTO** del mio aliante.



<p>discesa normale, cloche al "punto neutro". L'impennaggio è leggermente deportante (*)</p>	<p>Anselmo va in picchiata spingendo la cloche: l'orizzonte "sale" e la velocità aumenta.</p>	<p>Anselmo cabra tirando la cloche: l'orizzonte "scende" e la velocità diminuisce.</p>

Basta basarsi sulla posizione della linea del cruscotto del mio aliante per controllarne l'**ASSETTO**. Se l'orizzonte sale vuol dire che sono in picchiata, se al contrario scende, allora sto' cabrando. La velocità dell'aliante si modula di conseguenza. Assetto in picchiata = aumenta. Assetto in cabrata = diminuisce.



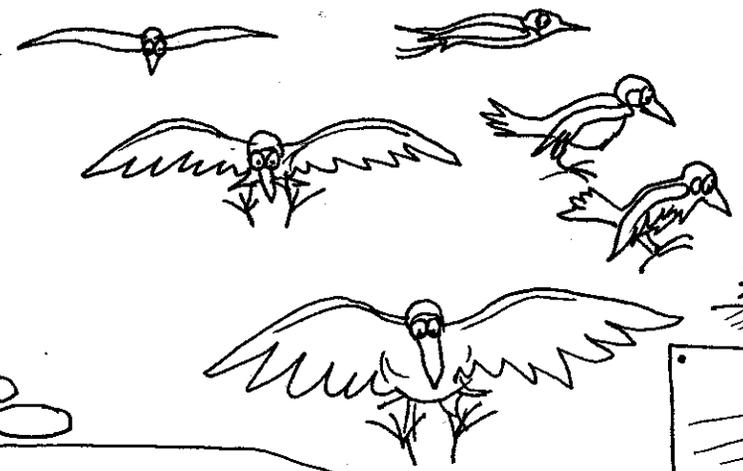
Questo **RIFERIMENTO CRUSCOTTO** è un' indicazione molto utile.



Più un aliante vola veloce e più l'attrito dell'aria sulle ali è rumoroso, si intensifica. Quando gli strumenti di misura della velocità non erano ancora stati inventati, i piloti d'aliante si riconoscevano dalla lunghezza delle loro orecchie, per meccanismo d'adattamento.

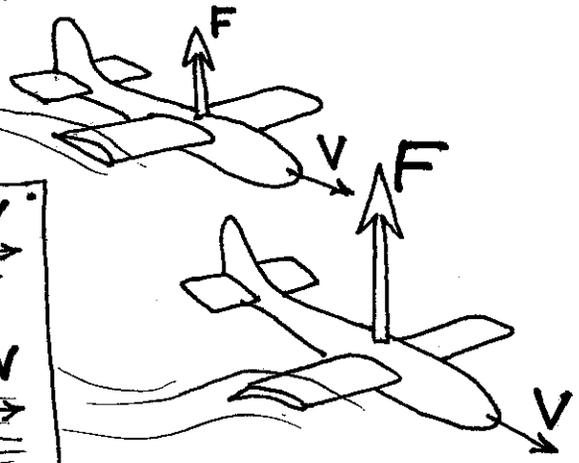
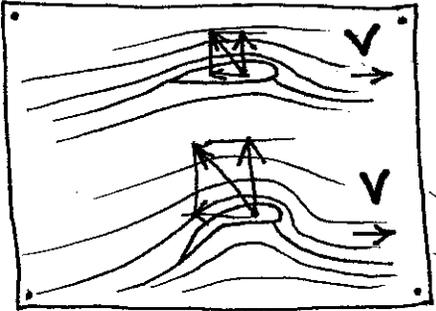
# IPERSOSTENTATORI (FLAPS)

Humm... ottimo per il controllo del **BECCHEGGIO**, ma in curva non funziona più. Osserviamo un po' il volo degli uccelli.



Ecco fatto!

In fase di atterraggio incurvano le ali utilizzando i muscoli alari per dirigere le piume.



Aumentando la curvatura del mio **PROFILO ALARE** si produce una forza aerodinamica più elevata a pari velocità  $V$ . Allo stesso modo, gli uccelli, configurando le loro ali in questa maniera, possono **PREPARARSI** ad atterrare ad una velocità inferiore.

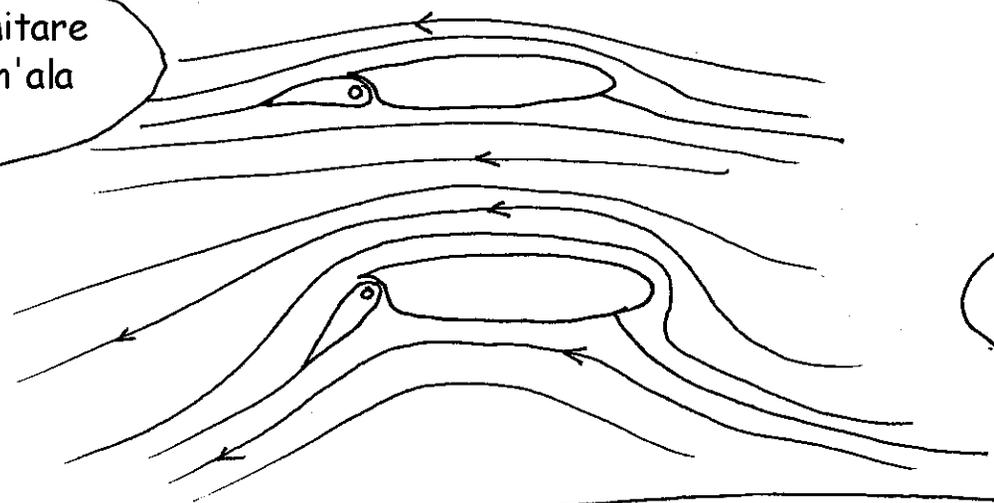


Non posso piegare queste ali così come sono, ma posso rendere pieghevole la parte posteriore.

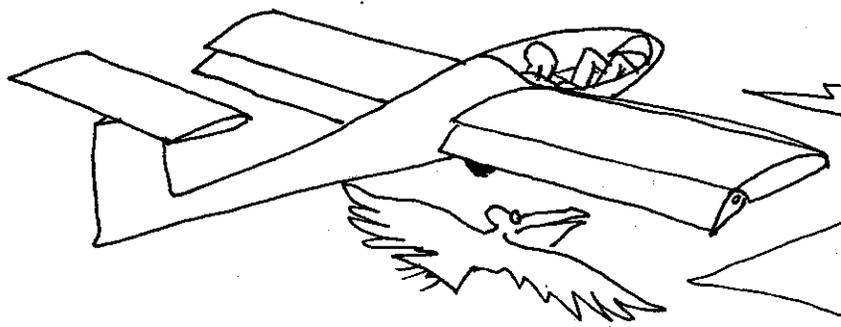
Delle ali... pieghevoli !?!



Guardate. Anselmo ha cercato di imitare le piume degli uccelli costruendo un'ala con una parte pieghevole!

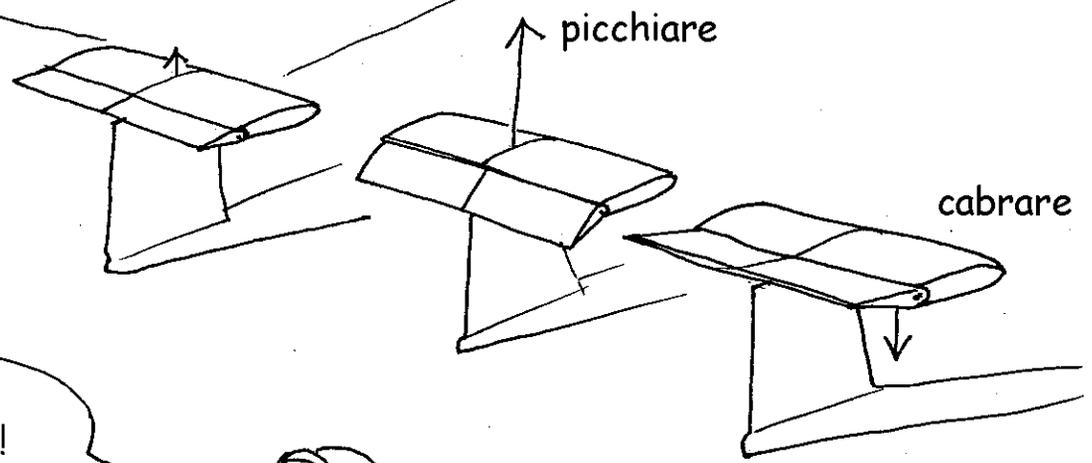


  
Sono dei filetti d'aria.



Durante l'atterraggio, il momento del **CONTATTO COL SUOLO** é già molto meno pericoloso.

Ma allora, perché non generalizzare questo sistema e dotarne anche il mio impennaggio orizzontale?

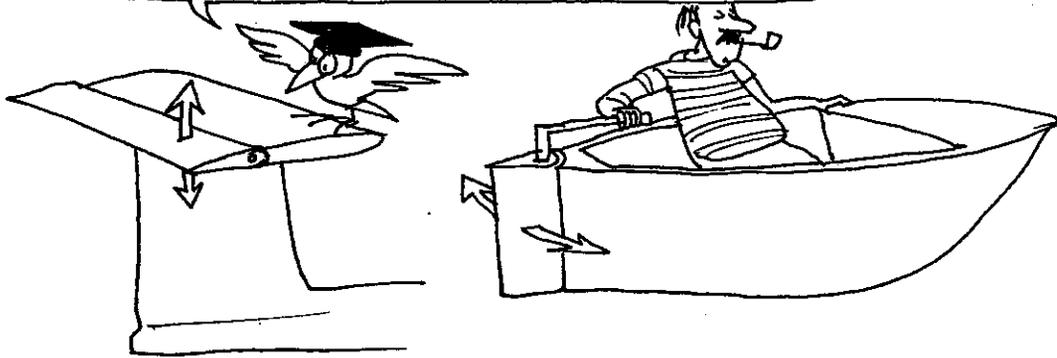


Detto fatto!



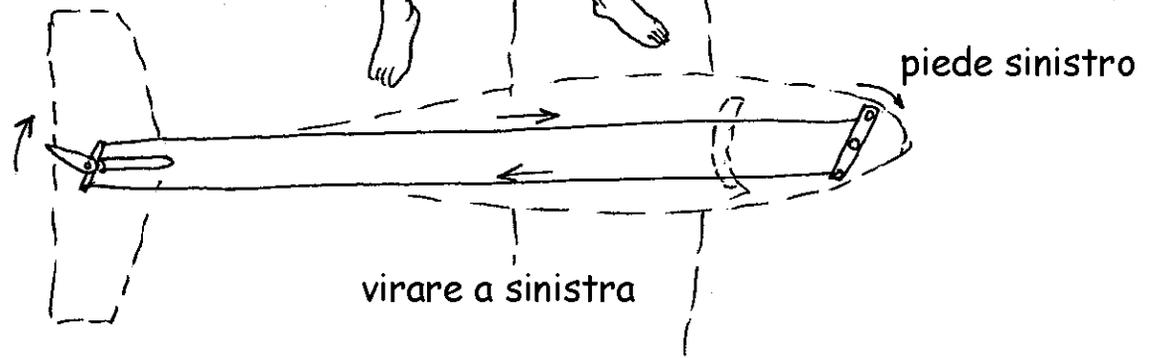
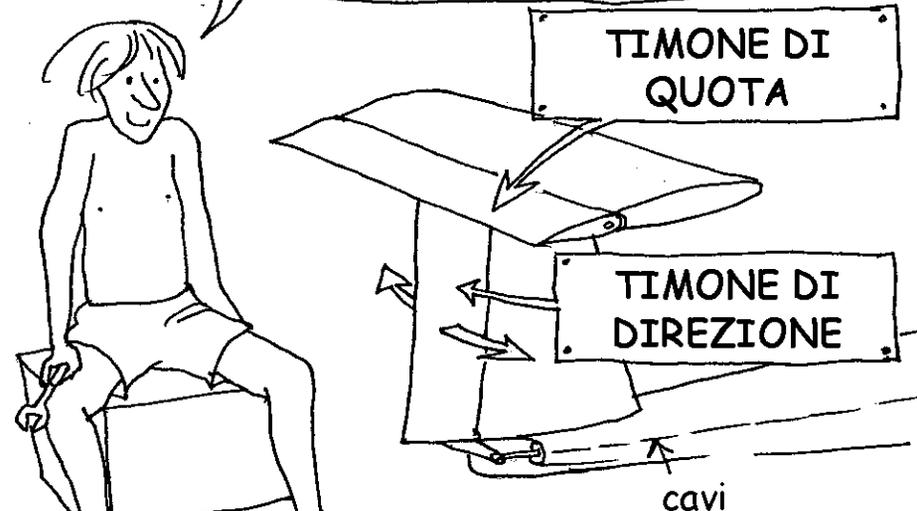
# i TIMONI

Insomma, funziona come il **TIMONE** di una nave, solo che invece di dirigere a destra o a sinistra, dirige un movimento "alto o basso".



Ma ecco la soluzione!  
Mi sforzo inutilmente di virare mettendo il braccio destro o sinistro fuori dal finestrino. Basterebbe dotare il mio aliante di un **TIMONE DI DIREZIONE**!

Che azionerei dalla **CABINA DI PILOTAGGIO**, con i piedi, collegando mediante un sistema di cavi il mio timone di direzione ad una **PEDALIERA**.



Allora, come stà il mio pilota preferito ?

Benissimo, Sofia. La **MECCANICA DEL VOLO** non ha più nessun segreto per me. Basta mettere dei timoni al posto giusto e si puo' salire, scendere, girare a destra e girare a sinistra.

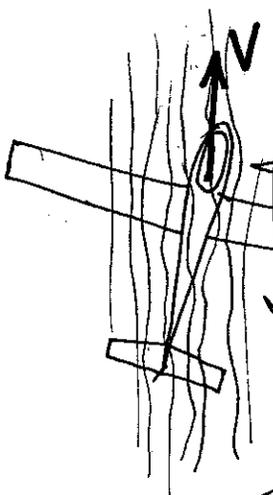
Ho persino costruito un aliante biposto e se vuoi ti faccio salire.

Eccoci, si decolla lungo la discesa.  
Con questo manico di scopa posso salire o scendere a piacimento e, normalmente, mediante la pedaliera...

Accidenti, spingo il pedale al massimo e non riesco a girare ! L'aliante scivola di lato, come mai !?!

Che succede ?





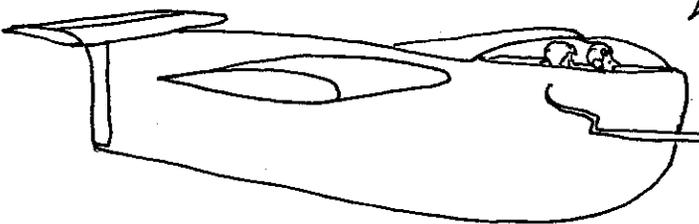
Rifletti : Con il tuo timone hai solamente girato la fusoliera. E siccome hai perso l'aderenza con il vento, l'aereo **SLITTA LATERALMENTE**, tutto qui...

Non capisco...

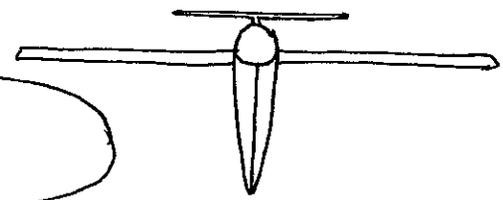


Cerca di dirigere una barca a fondo piatto con un semplice timone, non funziona.

Allora cosa dovrei fare, dare alla fusoliera del mio aliante la forma di uno scafo perché riesca a girare !!?



Potrebbe essere una soluzione, ma ce n'è una più semplice.



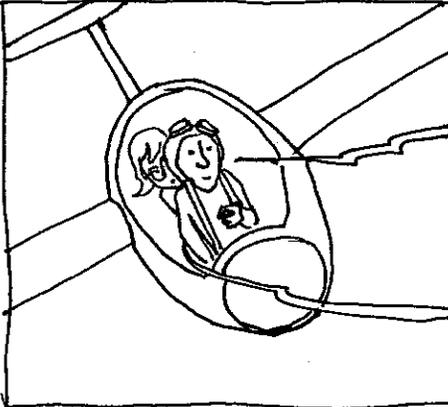
Spingo il timone.



Eh... non gira ?!



**SCIVOLO** di lato sull'acqua ma non giro. Mi ci vorrebbe uno scafo con una **DERIVA**, una **CHIGLIA**.



Caspita ! C'è una forte **TURBOLENZA**, una raffica d'aria ascendente che solleva l'ala sinistra !

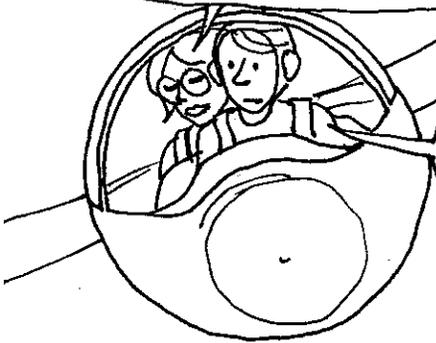
E allora ?



Ci fa virare a destra.  
Viriamo senza nemmeno toccare i pedali !?

Penso che ci sia bisogno di una spiegazione. Ma comincia a tirare leggermente sulla cloche per impedire all'aereo di picchiare !

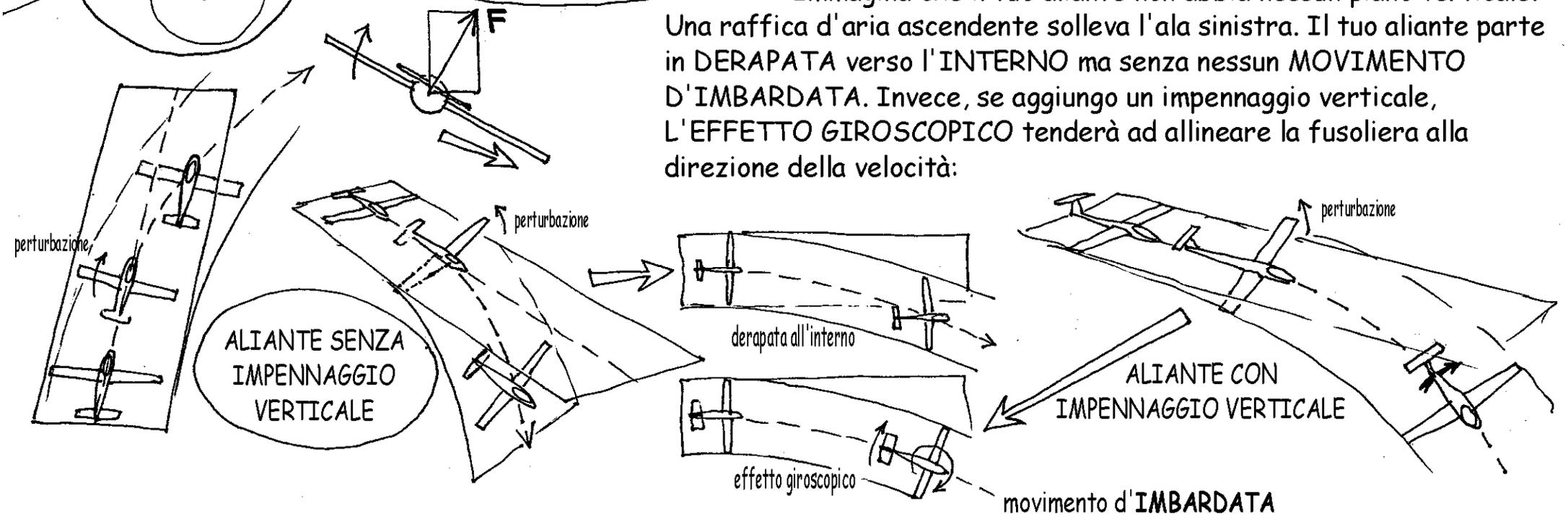
É il tuo impennaggio verticale che ti fa girare.



Non capisco come sia possibile visto che si trova nel piano di simmetria del velivolo.

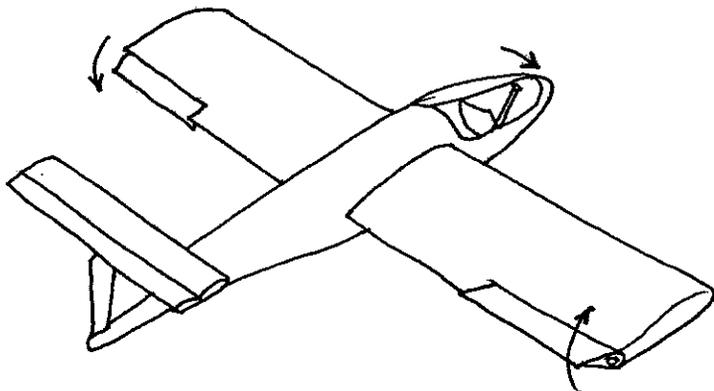
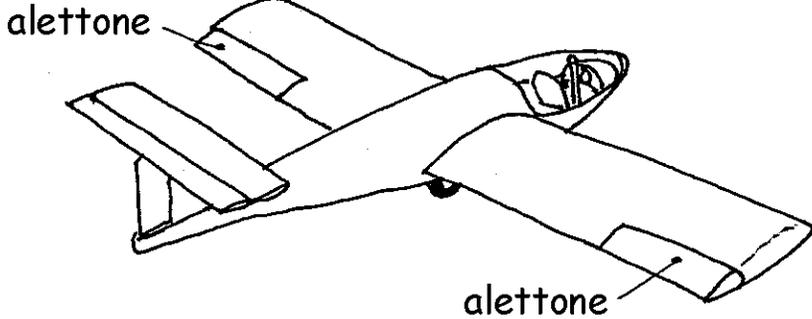
# L'INCLINAZIONE

Immagina che il tuo aliante non abbia nessun piano verticale. Una raffica d'aria ascendente solleva l'ala sinistra. Il tuo aliante parte in DERAPATA verso l'INTERNO ma senza nessun MOVIMENTO D'IMBARDATA. Invece, se aggiungo un impennaggio verticale, L'EFFETTO GIROSCOPICO tenderà ad allineare la fusoliera alla direzione della velocità:

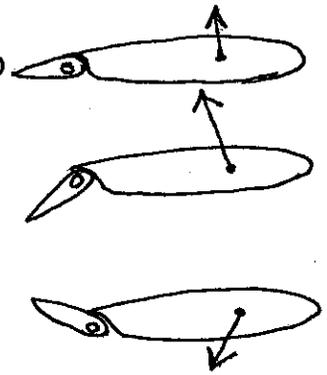


# ALETTONI

Se l'**INCLINAZIONE** é cio' che fa virare l'aliante, allora posso provarla modificando il profilo degli ipersostentatori con l'aggiunta di **ALETTONI**, orientati in modo differenziale.



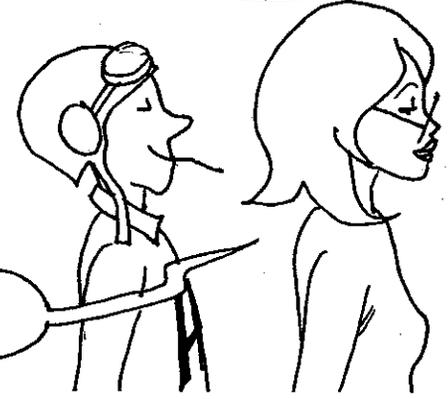
Portanza, alettone non orientato  
Aumento della portanza, alettone abbassato.  
Deportanza, alettone sollevato.



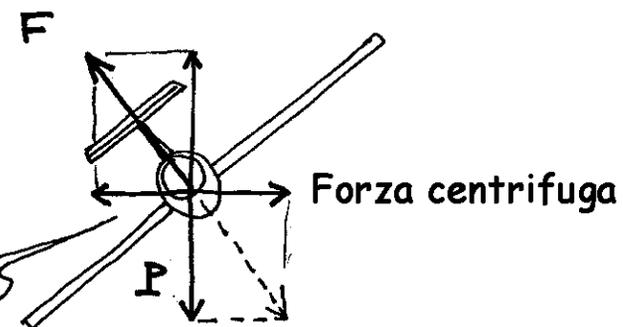
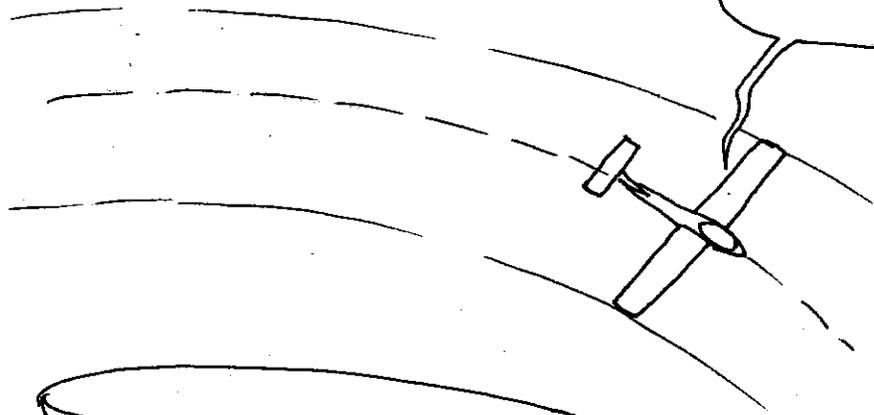
Mi sono ingegnato a dirigere il movimento di questi alettoni con la cloche, inclinandola a destra o a sinistra.

Bene, potro' inclinare l'ala orientando questi alettoni con la cloche. Poi, per effetto giroscopico, il mio piano verticale innescherà la virata, e tirero' un po' la cloche per conservare l'**ASSETTO** e impedire al mio velivolo di picchiare.

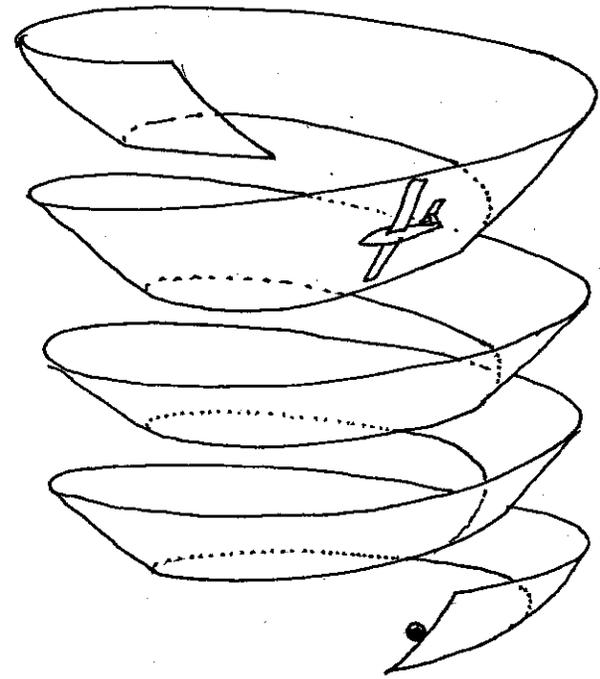
Visto che ci sei, premi un po' sui pedali per iniziare la curva, ti aiuterà.



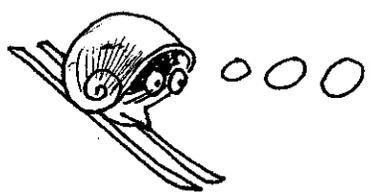
Hop ! funziona. Inizio la curva.



Osserva, ora il tuo aliante vira praticamente da solo. Hai bisogno dei comandi solo per equilibrare la curva.



Se la virata é ben equilibrata, l'aliante deve muoversi come una biglia che scorre lungo una guida spiraliforme, o come una slitta su di uno scivolo ghiacciato, senza sbandare né a destra né a sinistra.



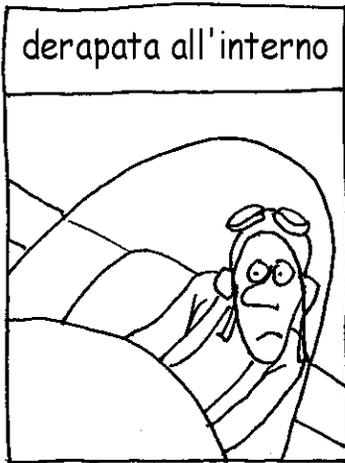
Ma come posso sapere se sono in derapata verso l'interno o verso l'esterno rispetto ad un elemento che non si vede: l'aria ?

# CONTROLLO DELLA VIRATA

Il primo sensore é il **CORPO**, che percepisce molto bene il movimento di **DERAPATA**.



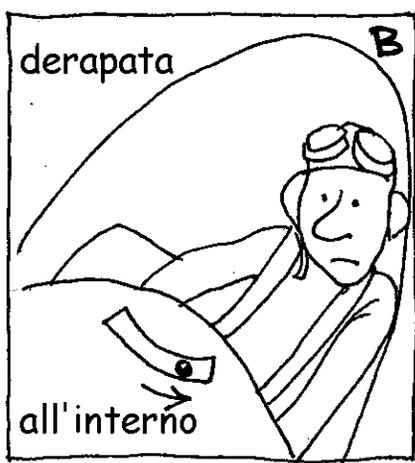
Primo strumento: **LO SBANDOMETRO**



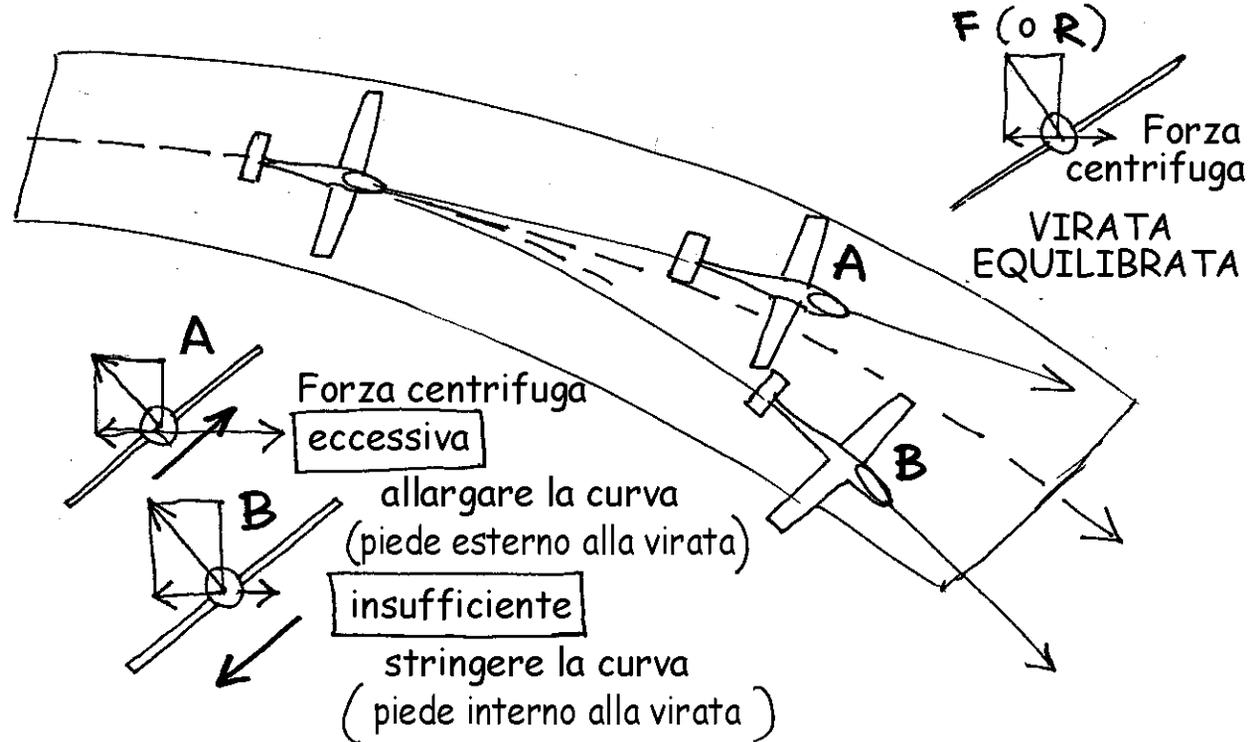
In pratica é molto piu' leggero come effetto e ci vuole una certa abitudine per **PILOTARE ALLA SENSAZIONE**.



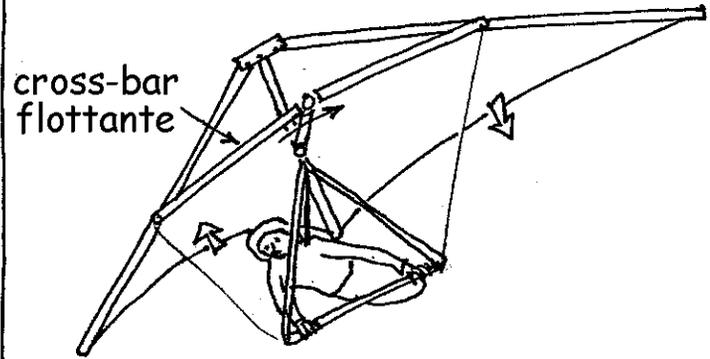
E' costituito da un tubo di vetro incurvato, riempito di olio, all'interno del quale si muove una pallina.



La pallina scivola nello stesso verso della **DERAPATA**.

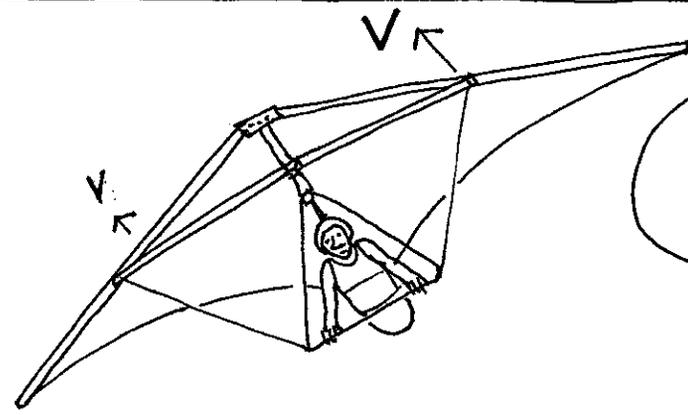


# PICCOLA DIGRESSIONE SULLE ALI DELTA (si veda pag. 16)



cross-bar flottante

Il pilota del deltaplano sposta il proprio peso per entrare in virata.



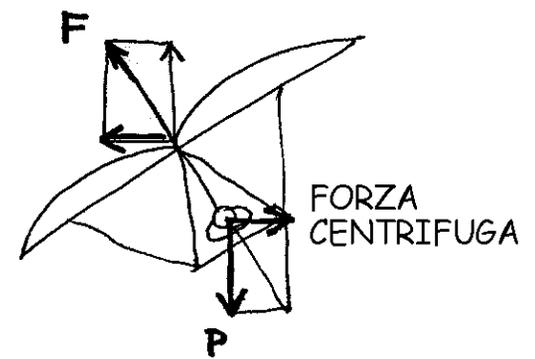
Ma come controlla la sua virata? Anche lui ha una... pallina?



Quando la virata é innescata, é l'inclinazione che la mantiene. Cio' grazie al fatto che l'ala esterna si sposta più velocemente.



Il pilota di deltaplano non ha bisogno di una pallina PERCHE' ... E' LUI LA PALLINA ! La virata si accentua fin tanto che la forza centrifuga non allinea il corpo del pilota con il piano di simmetria del velivolo, posizione in cui é mantenuto dal sistema di cross-bar flottante.



La forza centrifuga equilibra la componente radiale della forza aerodinamica.

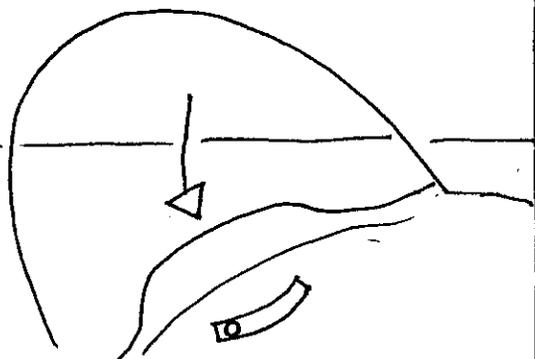
# IL FILO DI LANA



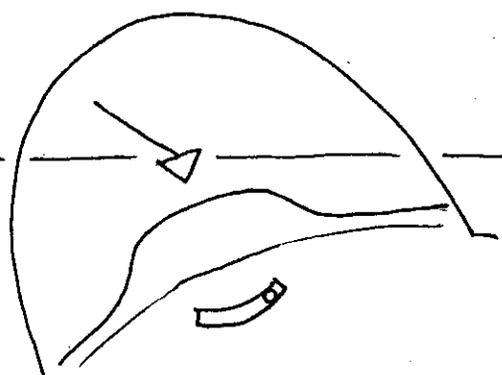
É molto carina questa pallina,  
ma c'è un inconveniente. Siccome hai gli occhi puntati  
sopra in permanenza, non guardi più dove vai !!

Questo filo di lana  
incollato al vetro avrà  
la stessa funzione

E come funziona ?

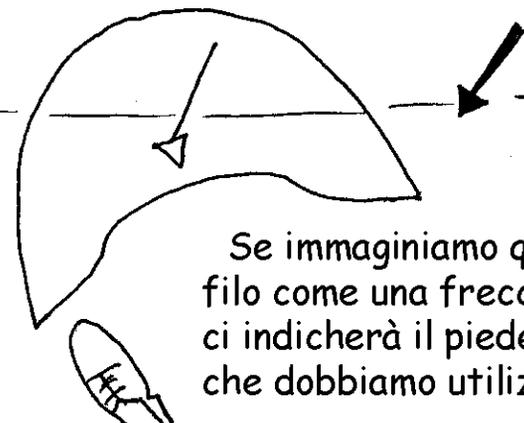


derapata all'interno  
stringere la curva  
piede interno



derapata all'esterno  
allargare la curva  
piede esterno

## METODO MNEMONICO



Se immaginiamo questo  
filo come una freccia,  
ci indicherà il piede  
che dobbiamo utilizzare.

# COMBINARE i COMANDI

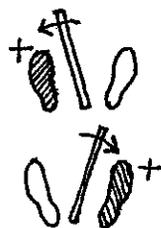
Quando iniziamo una virata, o ci rimettiamo in linea retta, o che stringiamo o allarghiamo una curva, bisogna agire simultaneamente sul piede e sulla cloche.



Si dice che combiniamo i comandi.

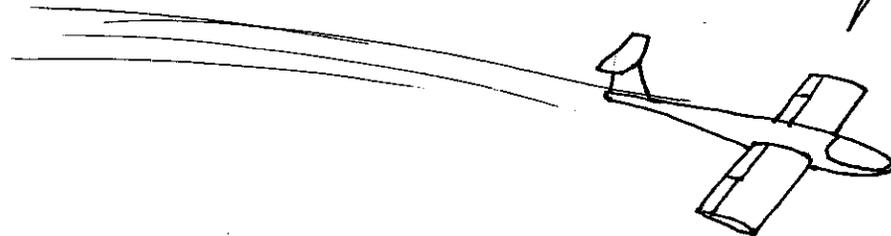
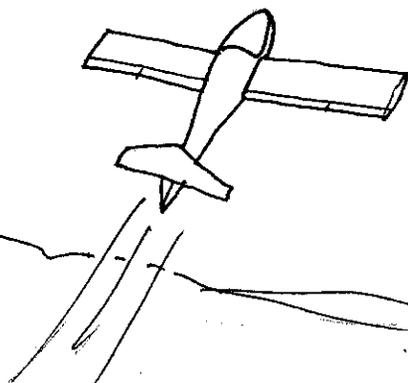
\* cloche a sinistra, piede a sinistra

\* cloche a destra, piede a destra



Grazie a questi comandi, l'aliante mi obbedisce ormai come un cagnolino.

Spingo la cloche ed aumento la velocità.



# LO STALLO

Tiro la cloche per cabrare l'apparecchio.



Sofia, stiamo cadendo come un sasso !!

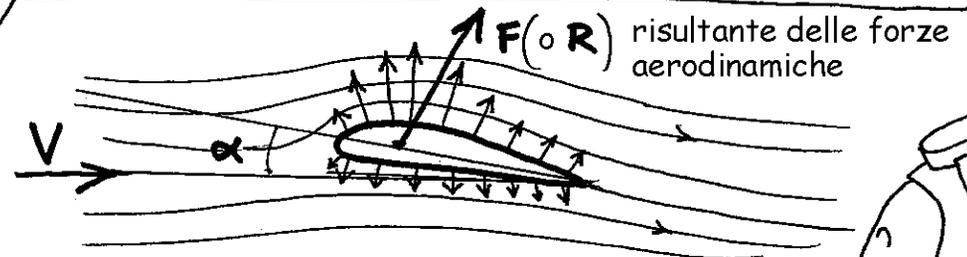
E non ho toccato nulla, che succede ?



Ti spiego. Guarda il disegno del flusso d'aria attorno alla tua ala in condizioni normali.

Mio caro, hai fatto un magnifico stallo.

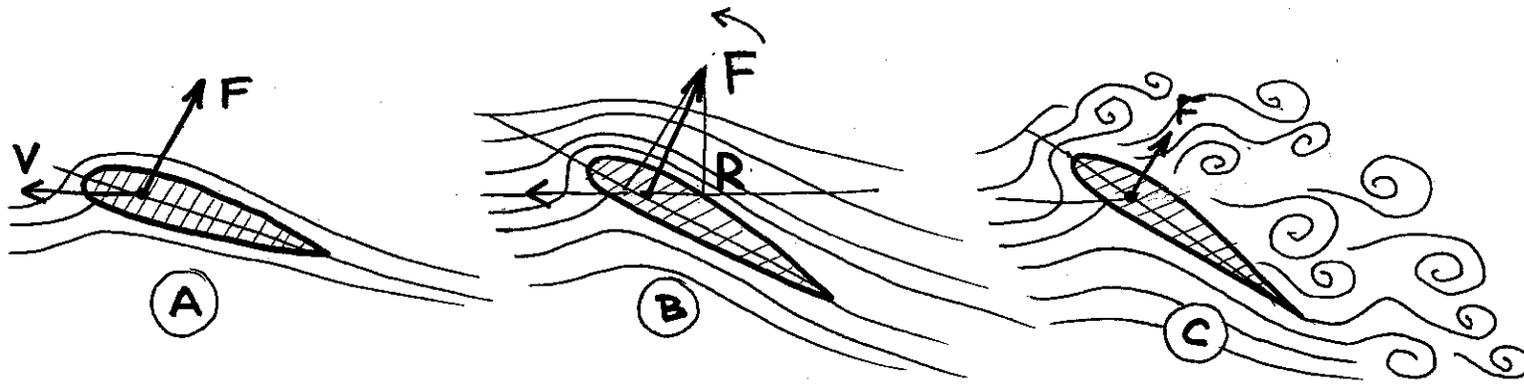
Un COSA ?!?



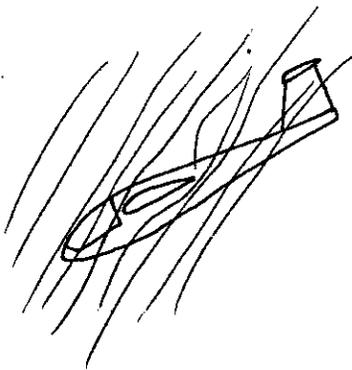
Normali...  
ma come ?

Quando l'ANGOLO DI ATTACCO  $\alpha$  del flusso d'aria incidente sull'ala ad una velocità  $V$  resta moderato, diciamo tra  $6$  e  $15^\circ$



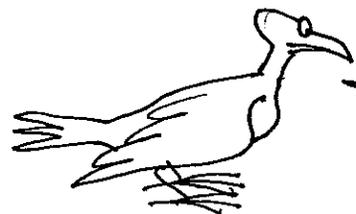


- In **A** una configurazione di volo ordinaria.
- In **B** volo a grandi angoli d'attacco. La forza aerodinamica si proietta sempre sulla direzione della velocità  $V$  dandoci la resistenza  $R$ , ma lo sbilanciamento in avanti di questa forza  $F$  la fa proiettare sulla parte anteriore del piano dell'ala.
- In **C** l'aria non arriva più a scorrere sulla parte anteriore del profilo alare. Per effetto della forza centrifuga il flusso **SI STACCA** dal profilo. La portanza si annulla. L'aliante va in picchiata.

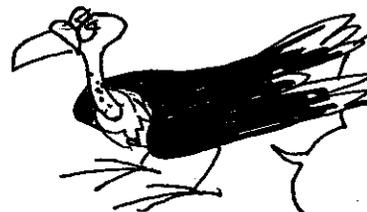


Dopo una brusca **PERDITA DI QUOTA** il velivolo riprende velocità. Il flusso si **RIATTACCA** al profilo. La portanza riappare di colpo, grazie all'aumento della velocità  $V$ . Quando il pilota sente che il suo velivolo va in stallo, può accelerare il ritorno ad una configurazione normale picchiando leggermente, spingendo la cloche e poi **RILASCIANDO TUTTI I COMANDI**.

*La Direzione.*



Ti è già successo di andare in stallo?



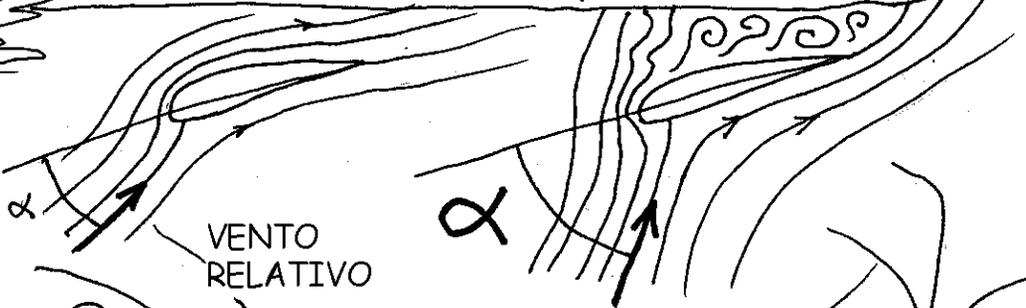
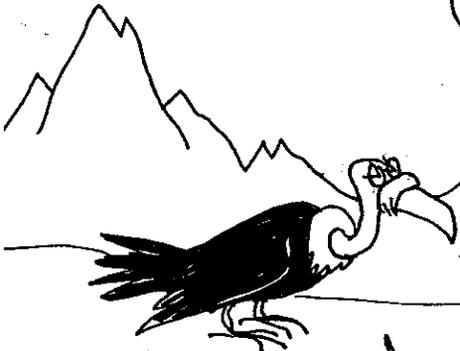
Eccome! Volavo sulle Ande ed una raffica d'aria ascendente mi ha provocato uno **STALLO AERODINAMICO**.

# AUTOROTAZIONE



Volteggiavo tranquillo cercando qualcosa da mangiare, una bella carcassa, quando all'improvviso, il dramma !!

Sei andato in stallo perché il **VENTO RELATIVO** è cambiato modificando il tuo angolo d'attacco ?



Si. Ma siccome l'ala interna alla curva è la più lenta, è lei che ha ceduto. Allora mi sono sbilanciato ed ho cominciato a girare sbalottato in tutti i sensi !

L'ala esterna vola a grandi angoli d'attacco. La forza **F** spinge sull'ala e mantiene questa **AUTOROTAZIONE**

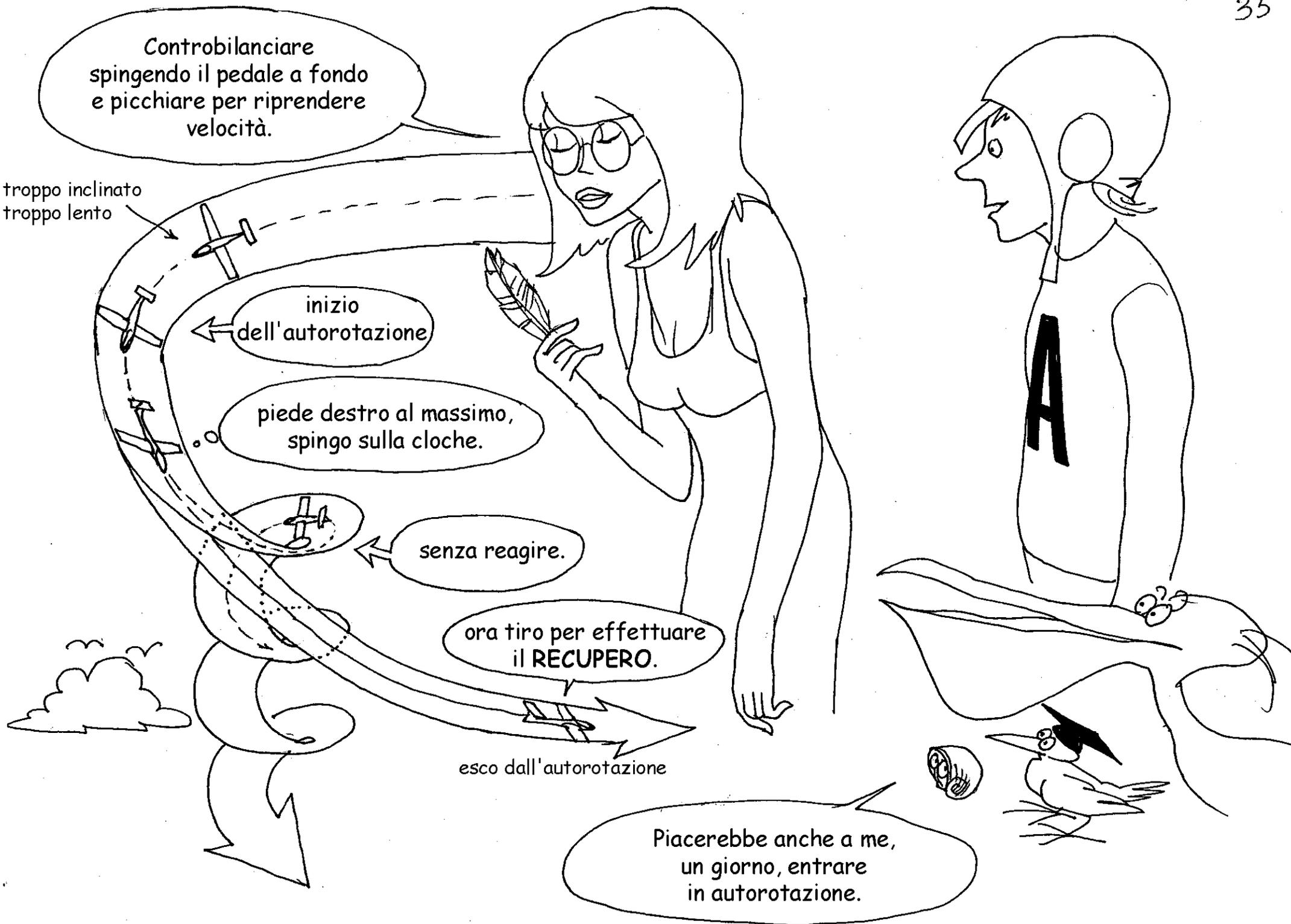
L'ala interna si è "staccata"

Devo fare qualcosa, ma cosa ?

Tirare la cloche ? **Assolutamente vietato !**



Perdiamo cento metri ad ogni giro !



Controbilanciare  
spingendo il pedale a fondo  
e picchiare per riprendere  
velocità.

troppo inclinato  
troppo lento

inizio  
dell'autorotazione

piede destro al massimo,  
spingo sulla cloche.

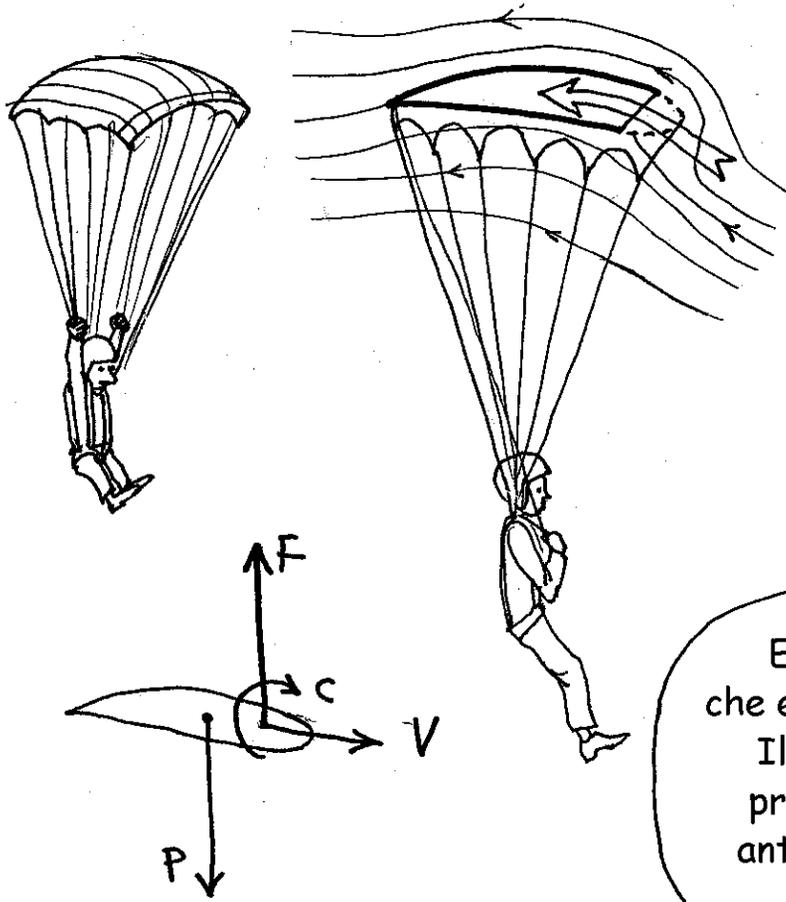
senza reagire.

ora tiro per effettuare  
il **RECUPERO**.

esco dall'autorotazione

Piacerebbe anche a me,  
un giorno, entrare  
in autorotazione.

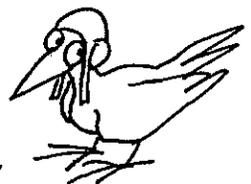
# PARAPENDIO: QUANDO LA VELA PUO' DIVENTARE UN DRAPPO FUNEBRE



Il parapendio é un mezzo da volo libero derivato dal **PARACADUTE A CASSONI**, che ha sostituito il vecchio paracadute parabolico (\*) che oggi si utilizza solo come paracadute d'emergenza.

L'uso del paracadute é obbligatorio sugli alianti.

collisione tra alianti:

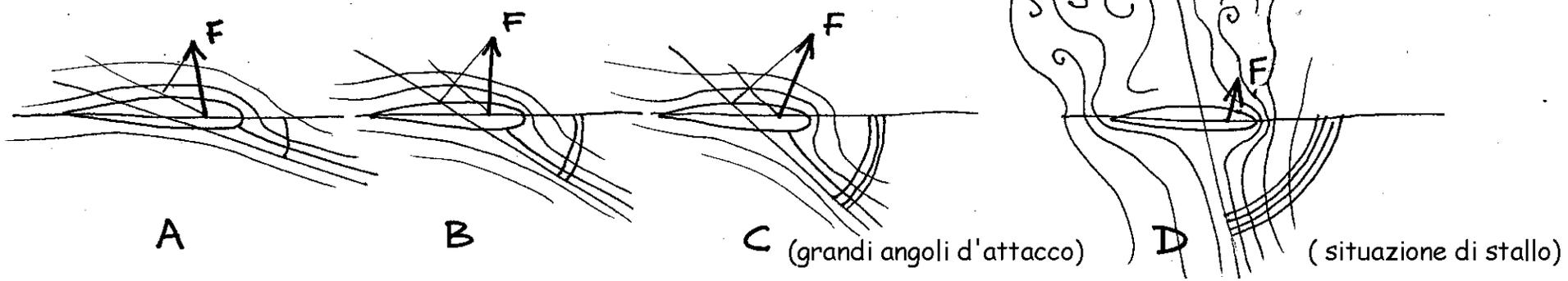


E' il centraggio mediano del pilota che equilibra la coppia picchiante dell'ala. Il profilo si gonfia grazie alla forte pressione che si esercita sulla parte anteriore dell'ala, fatta di un tessuto a trama larga.



(\*) Scende verticalmente à 6 m/s.

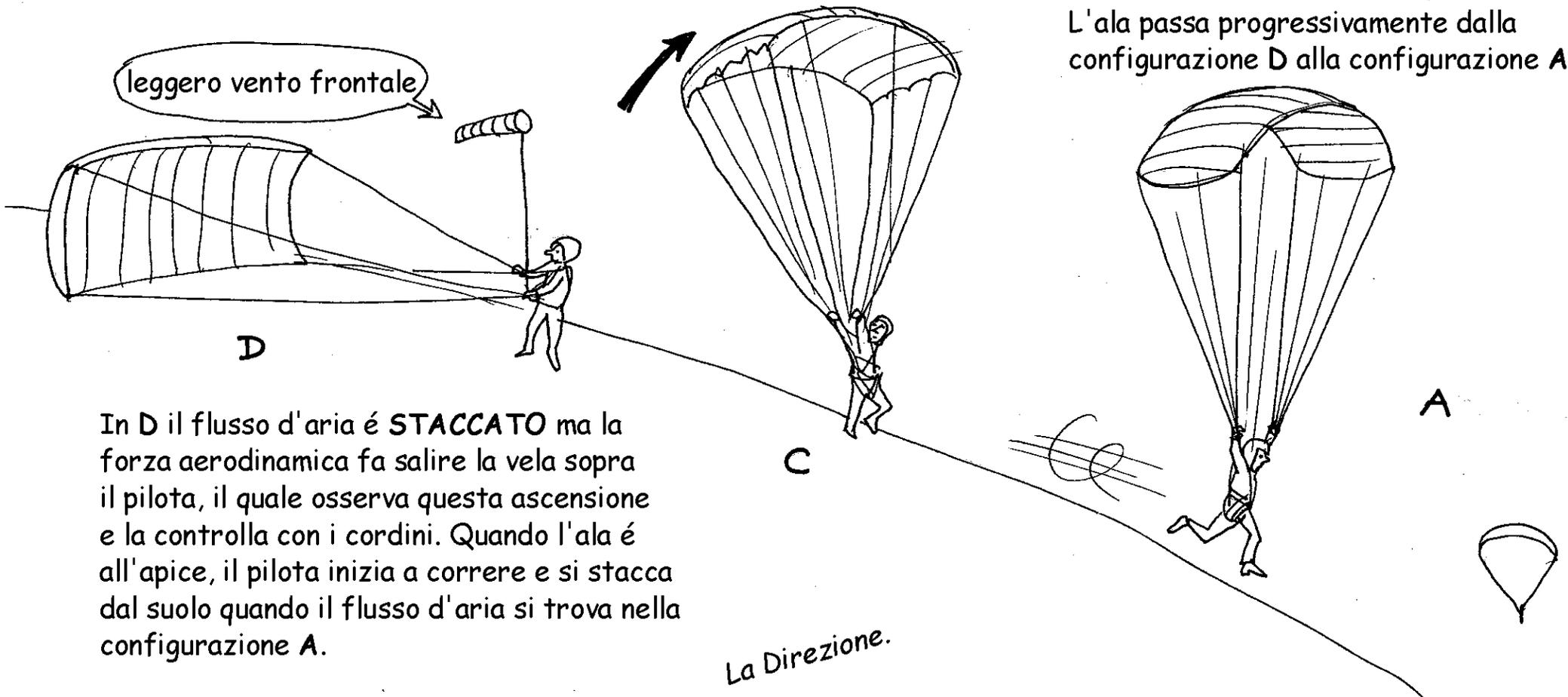
Velocità di discesa dei paracaduti a cassoni : 2,5 m/s-



Sappiamo che quando l'angolo d'attacco (la direzione del **VENTO RELATIVO**) cresce, la forza aerodinamica che agisce al **CENTRO AERODINAMICO** dell'ala, a 25% della corda, si sposta progressivamente in avanti. Il flusso d'aria finisce per **STACCARSI**. La forza diminuisce ma **RESTA DIRETTA VERSO LA PARTE ANTERIORE DEL PROFILO**.

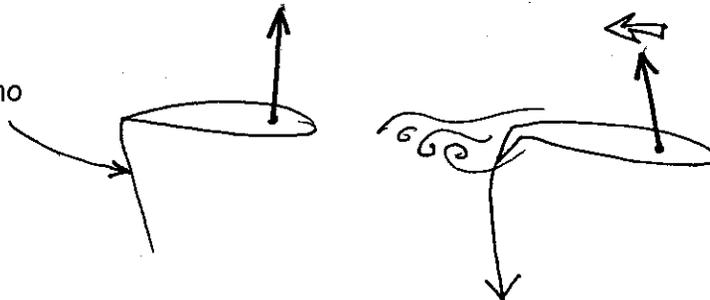
## IL DECOLLO IN PARAPENDIO

L'ala passa progressivamente dalla configurazione D alla configurazione A.



In D il flusso d'aria é **STACCATO** ma la forza aerodinamica fa salire la vela sopra il pilota, il quale osserva questa ascensione e la controlla con i cordini. Quando l'ala é all'apice, il pilota inizia a correre e si stacca dal suolo quando il flusso d'aria si trova nella configurazione A.

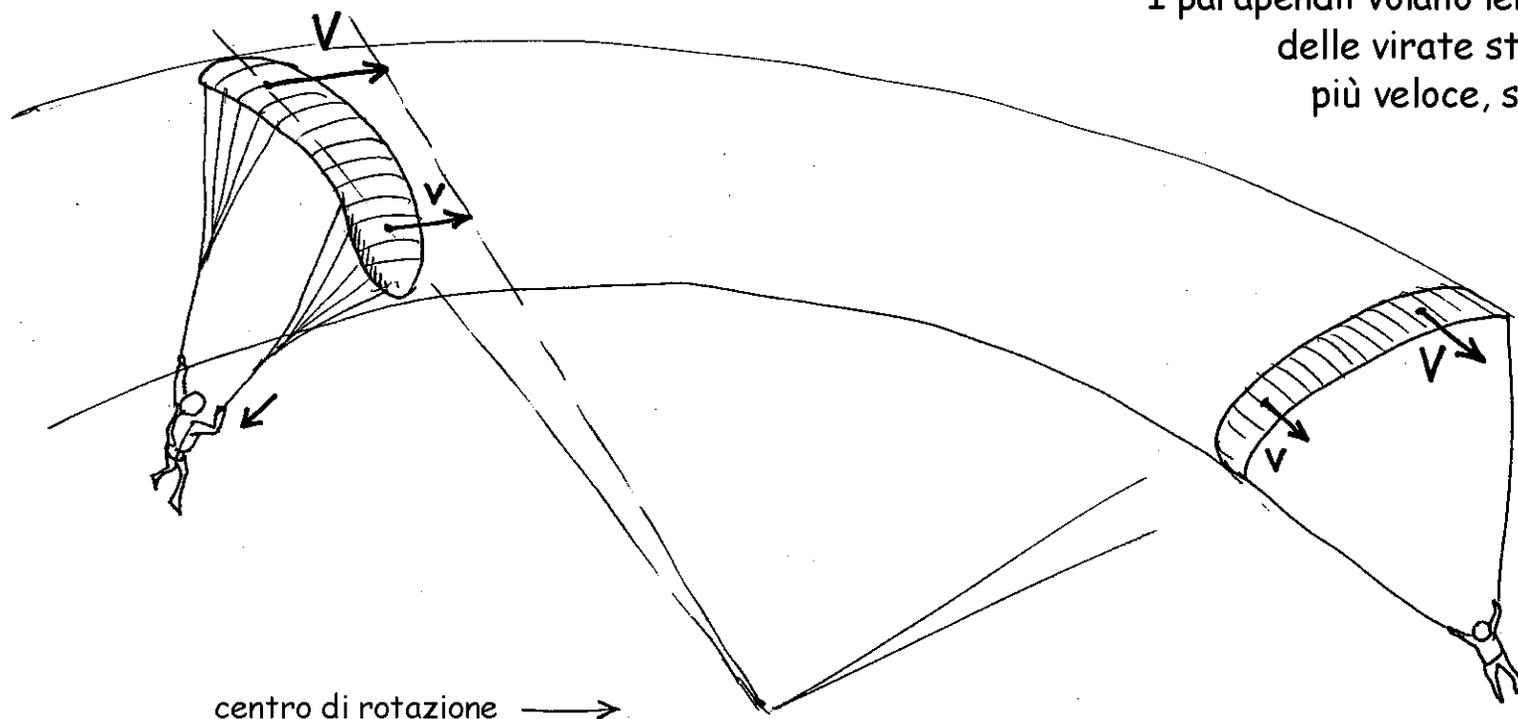
La Direzione.



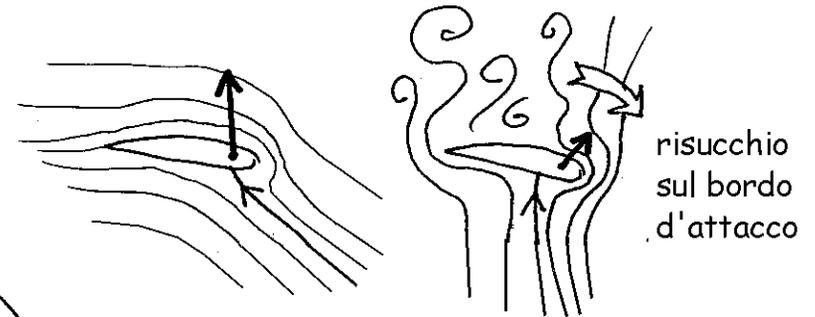
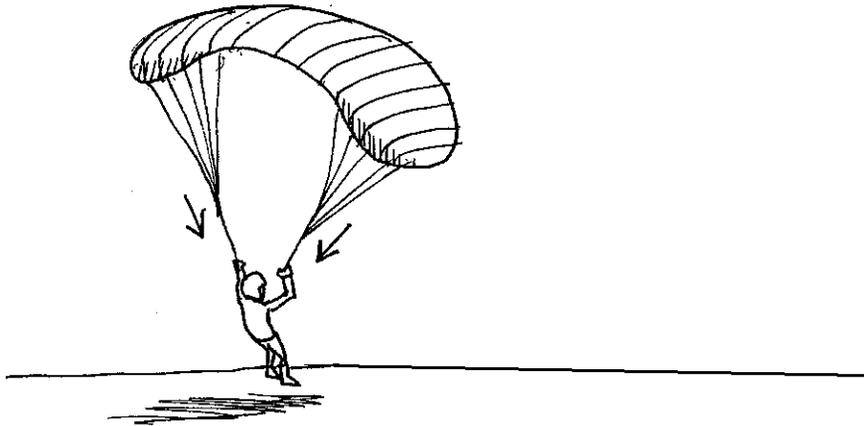
Il pilota di parapendio sfrutta la resistenza che si crea sulla parte destra e sinistra della sua vela, le cui estremità posteriori sono collegate a dei cavetti di comando chiamati **FRENI**.

Qui il pilota tira il suo freno destro. Aumenta la **RESISTENZA** della parte destra della sua vela. Cio' provoca molto efficacemente l'inizio della virata.

I parapendii volano lentamente e eseguono facilmente delle virate strette. La parte esterna dell'ala, più veloce, si solleva (**ROLLIO INDOTTO**).



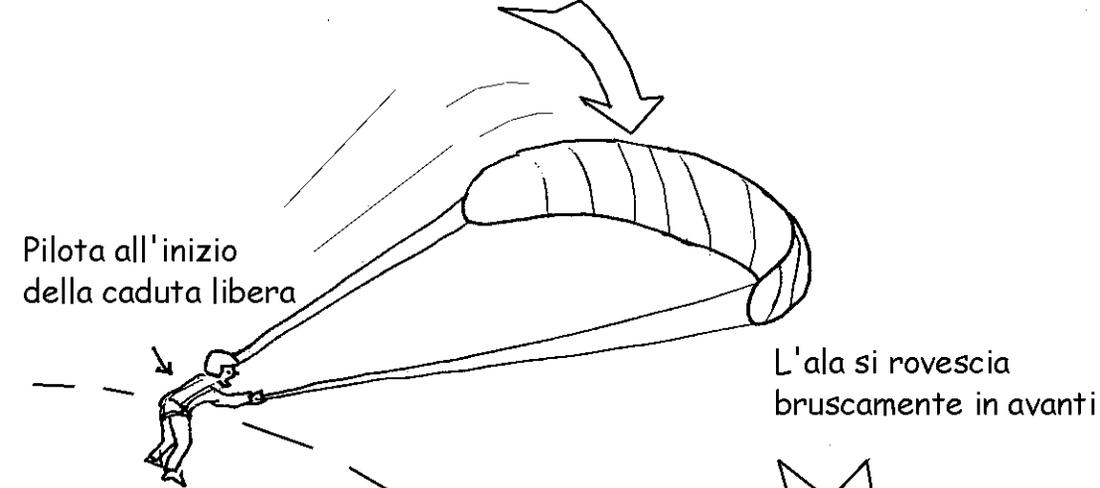
Tirando i due freni contemporaneamente,  
 il pilota puo' rallentare la sua ala fino alla **VELOCITA' DI STALLO**.  
 E' una manovra che farà poco prima di toccare il suolo,  
 in fase d'**ATTERRAGGIO**, per azzerare la sua velocità.



Ma salvo in fase d'atterraggio,  
 questa manovra é **MOLTO PERICOLOSA**.  
 Puo' succedere che per effetto di una violenta  
**RAFFICA ASCENDENTE** si provochi  
 uno **STALLO AERODINAMICO**.

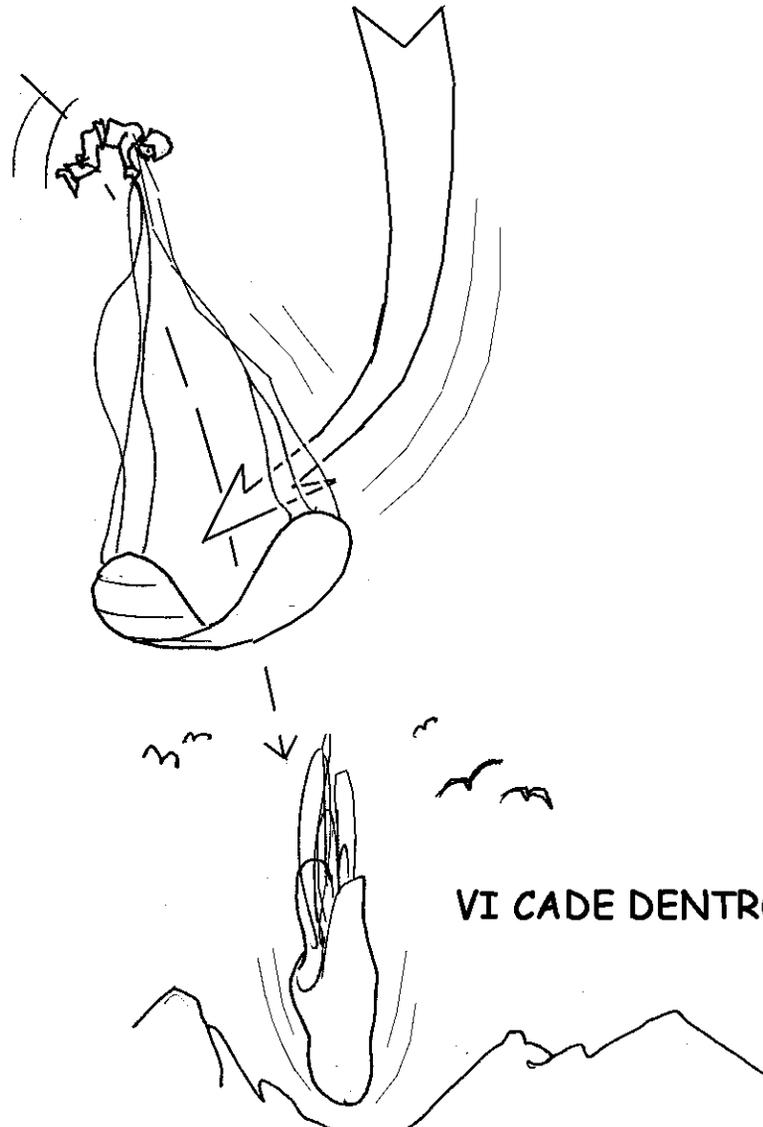


Stallo aerodinamico durante  
 un volo pomeridiano in  
**ATMOSFERA TURBOLENTA**



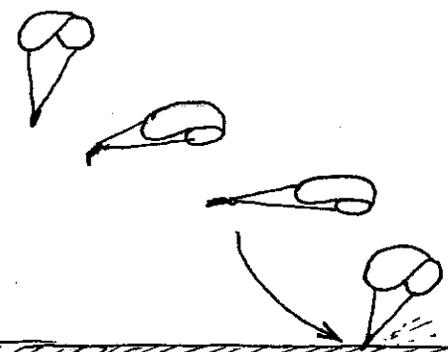
Il rovesciamento della forza aerodinamica verso la parte anteriore del profilo, spinge l'ala in avanti, a inerzia quasi nulla, molto velocemente.

Se il pilota non arriva a controbilanciare questo movimento (\*) frenando immediatamente la vela, questa passa sotto di lui.



(\*) Il principiante che non é al corrente ha tendenza a... mollare tutto!

Se l'incidente si produce vicino al suolo ed il parapendista ha la fortuna di non trovarsi nella vela, un recupero improvviso lo potrà salvare ma lo farà toccar il suolo molto violentemente.



caviglie, ginocchia in frantumi, vertebre rotte.

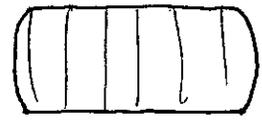
Nel volo libero bisogna trovare un compromesso tra **PRESTAZIONI** e **SICUREZZA**.

Un profilo piatto  permette delle velocità più elevate, che sono volute per spostarsi da una corrente ascensionale all'altra.

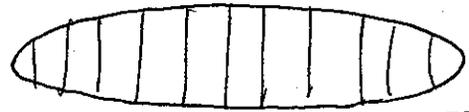
Ma più il profilo é piatto... più lo stallo é brutale. I progettisti cercano inoltre di aumentare l'**EFFICIENZA** (\*) (di cui parleremo in seguito) e per ottenerlo aumentano l'**ALLUNGAMENTO** dei parapendii, rendendoli più vulnerabili, in condizioni di turbolenza, alle **CHIUSURE DELLA VELA**, configurazioni che possono far perdere piu' di 50 m di quota prima di arrivare ad innescare la **RIAPERTURA**.



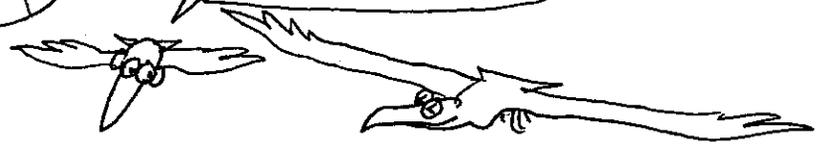
paracadute a cassoni



parapendio con allungamento crescente



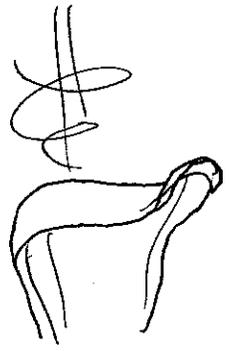
La mia efficienza? Beh...



primo pomeriggio, bel tempo, all'improvviso.....

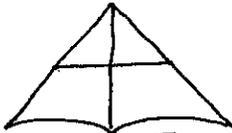


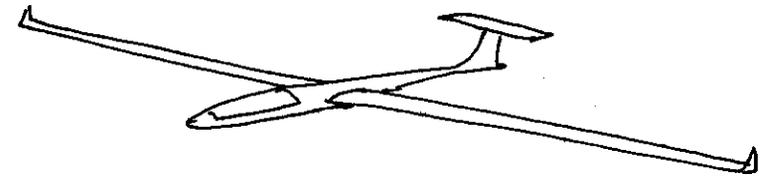
Ups..!



(\*) Partendo da un'altezza  $h$  possiamo percorrere la distanza  $d = f h$  con  $f =$  l'**EFFICIENZA**

Questa frenetica ricerca delle massime prestazioni esiste anche nel mondo dei "delta".

		
1975	1985	Oggi
		
superficie semplice		doppia superficie (con stecche)
25 km/h	35-70 km/h	40-100 km/h
efficienza 3	efficienza 7	efficienza 10
↓ 2,5 m/s	↓ 1,8 m/s	↓ 1 m/s

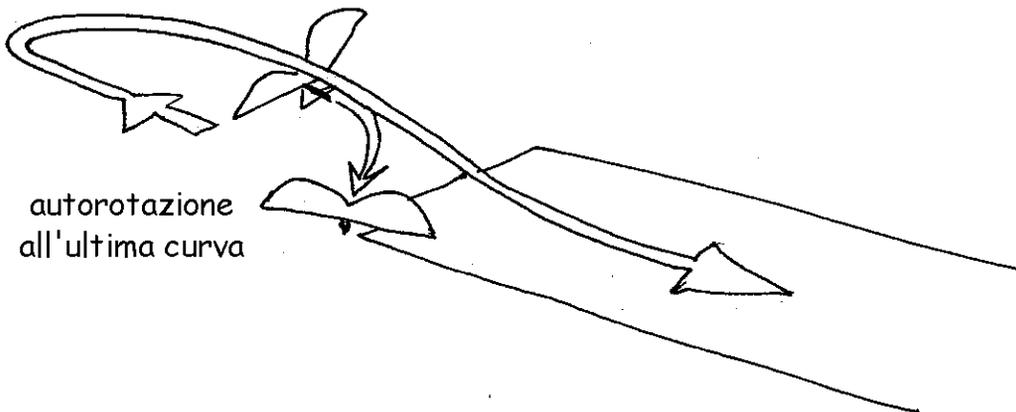


alianti moderni  
65-90-170 km/h  
efficienza 20 à 60  
↓ 0,5 m/s allungamento alare 20 à 35

Si deve cercare un buon compromesso tra le prestazioni e la sicurezza. I primi delta non potevano andare in stallo asimmetrico. I "delta" moderni, con forte allungamento e profilo biconvesso si comportano come delle ali classiche e quindi, in caso di stallo in virata possono partire in **AUTOROTAZIONE**.

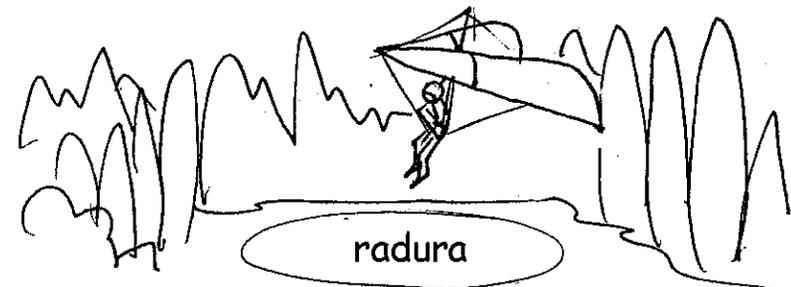


virata finale



autorotazione all'ultima curva

6 m/s  
discesa come  
in paracadute



I primi "delta" potevano scendere verticalmente come un paracadute.

# CAMPO LIMITE DI SICUREZZA



Abbiamo tre elementi:  
 1- Le condizioni aerologiche  
 2- Il velivolo  
 3- Il pilota

Ci sono delle condizioni aerologiche  
 che impediscono il volo ad alcuni velivoli.

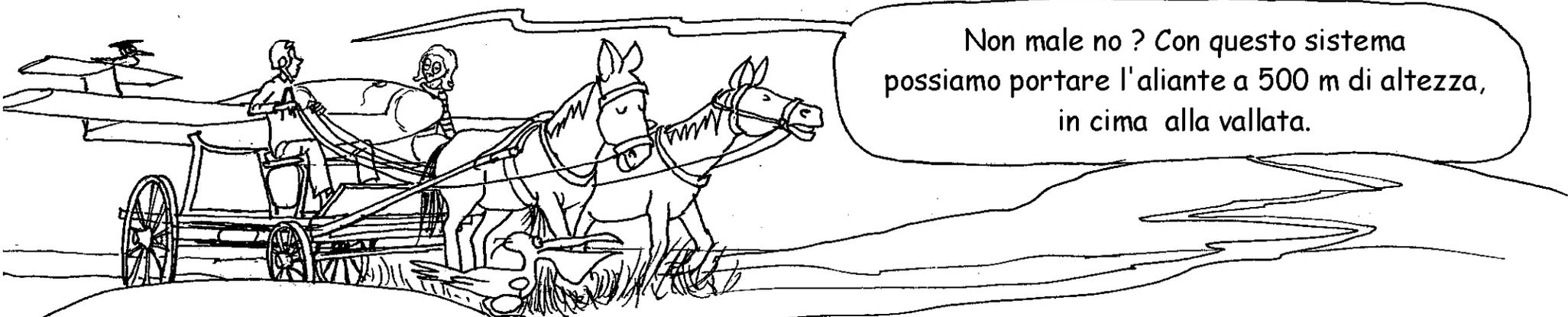
Non so cosa ne pensi,  
 ma credo sia meglio  
 proseguire a piedi.

Il parapendio é uno sport  
 che non presenta grossi rischi con il bel tempo,  
 il mattino presto per esempio, in assenza di vento e di turbolenze.  
 Invece in condizioni di turbolenza il rischio non va trascurato.

Dei velivoli in apparenza simili possono avere delle capacità di volo  
 molto diverse. Alcuni "perdonano" altri no. La ricerca costante della massima efficienza, malattia  
 del mondo moderno, non é senza rischi.

Nel mondo dell'aeronautica  
 c'è un proverbio: **UN BUON PILOTA  
 E' UN VECCHIO PILOTA.**

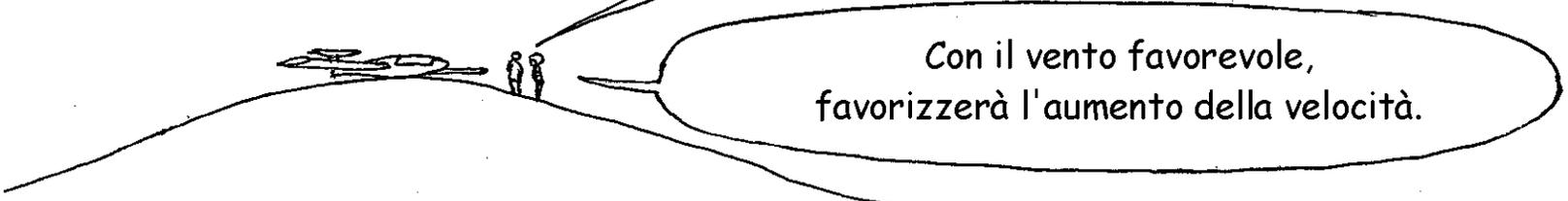




Non male no ? Con questo sistema possiamo portare l'aliante a 500 m di altezza, in cima alla vallata.

Manico di scopa, filo di lana, ancora le astuzie da casalinga.

Bene, eccoci in cima. Ma in quale direzione si decolla ?



Con il vento favorevole, favorizzerà l'aumento della velocità.

La direzione del vento ? C'è la classica astuzia del dito umido.



Aspetta, ho un'idea. Con questo caldo staro' meglio in maniche corte, vai a cercarmi un bastone di legno.



Leone, non le sembra di esagerare ?



# LA MANICA A VENTO

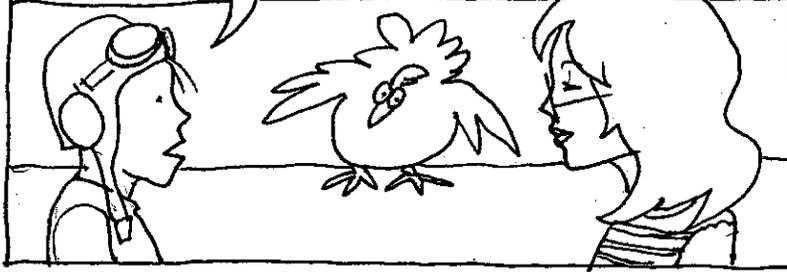
Guarda, che ti dicevo?



Seguitemi, si va di qua.



Gli uccelli non sono tutti fatti allo stesso modo. Ce ne sono che volano con un semplice battito d'ali. Altri invece, come la gallina...



Non é il caso di darvi arie solo perché avete delle ali più grandi. Se potessimo salire al vostro posto saremmo capaci di volare anche meglio di voi.



Da non crederci...

C' é una scogliera laggiù, fateci vedere.

Vai, buttati, mostra loro cosa sei capace di fare a questi gabbiani spennacchiati.

Se avessi dieci anni di meno, tse !

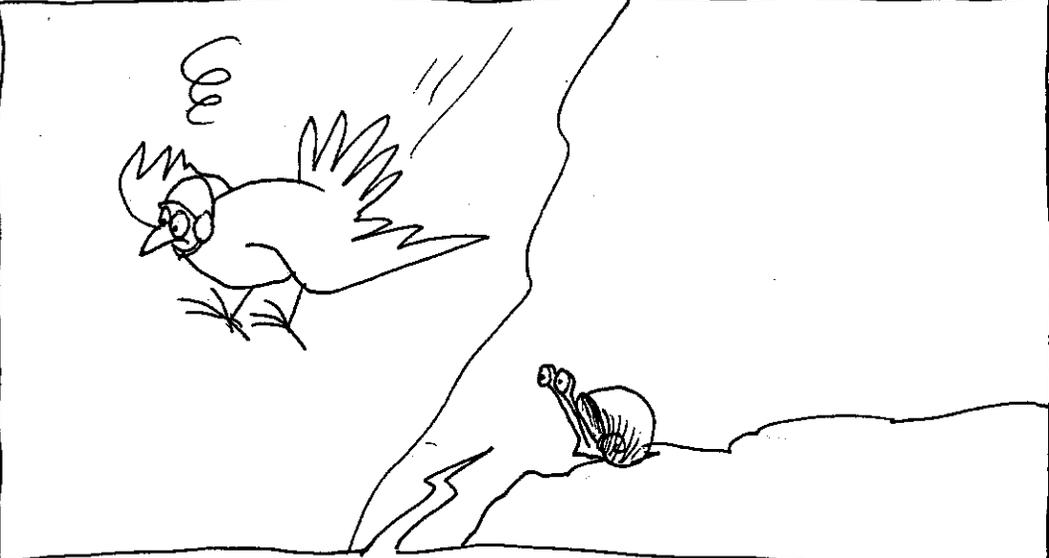
Salviamo l'onore delle galline.

Purtroppo le galline valutano le distanze con una visione binoculare.

Come le lumache.

Lontano dal suolo perde completamente l'orientamento, come un pilota tra le nuvole o nella nebbia. Diventa praticamente ... come cieca.

Per mille chicchi di grano ! Dove sono il cielo e la terra ? Non riconosco più nulla !...



Come si allontanano dal RILIEVO diventano incapaci di valutare le distanze.



# LA SPIRALE PICCHIATA

Non capisco... il mio filo di lana é al centro, la mia pallina pure, i miei comandi sono al punto neutro (\*) e la mia velocità cresce senza sosta.

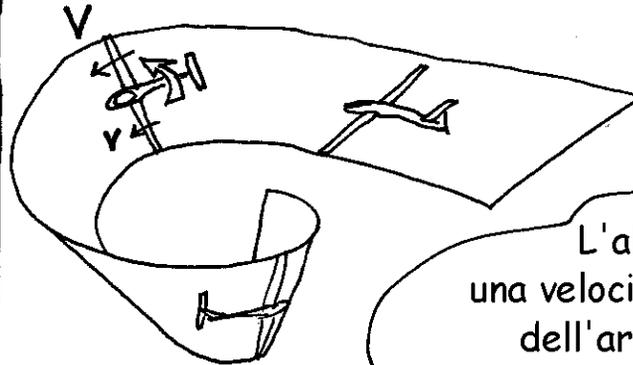
Perso in una nuvola, Anselmo non si rende conto che non vola più dritto. Infatti, senza un **ORIZZONTE ARTIFICIALE**, stabilizzato da un giroscopio, non ha nessuna possibilità di valutare il suo angolo d'attacco e il suo assetto. Si puo' ritrovare allora in una configurazione pericolosa: la spirale picchiata.

Una gallina, ad un'altezza di 200 metri, é incapace di organizzare le sue informazioni visuali per costruirsi un'immagine mentale tridimensionale del paesaggio. Così' disorientata, cade allora in una spirale picchiata dalla quale non riesce più ad uscire (\*).

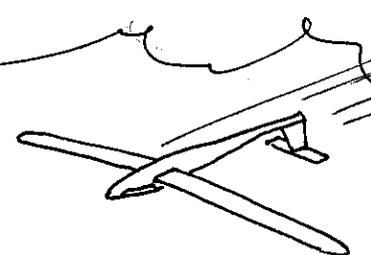


Help !!

(\*) Autentico.



L'ala esterna, che possiede una velocità superiore rispetto al flusso dell'aria, provoca un movimento di **ROLLIO INDOTTO**.



Cosa ! Sono capovolto !?!



Incredibile !



Prova a volare due minuti con gli occhi chiusi e capirai.

(\*) Autentico.

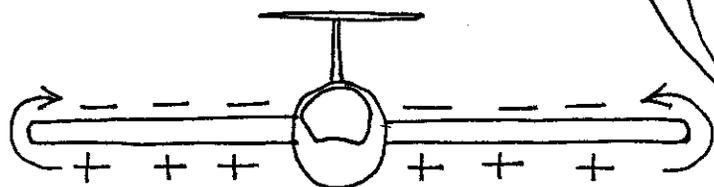
Gli uccelli che sembrano volare senza sforzo hanno sempre delle ali molto allungate. Per esempio, i rapaci o gli albatros.

Sei passato dal deltaplano all'aliante, che ha superfici più lisce per ridurre al massimo le perdite d'energia dovute alla turbolenza provocata dal velivolo stesso. Ma c'è un fattore che hai dimenticato.

Perché?

E quale?

Il meccanismo di funzionamento della tua ala è quello di creare una pressione sulla parte inferiore, l'**INTRADOSSO**, ed una depressione sulla parte superiore, l'**ESTRADOSSO**. Allora, succede questo:

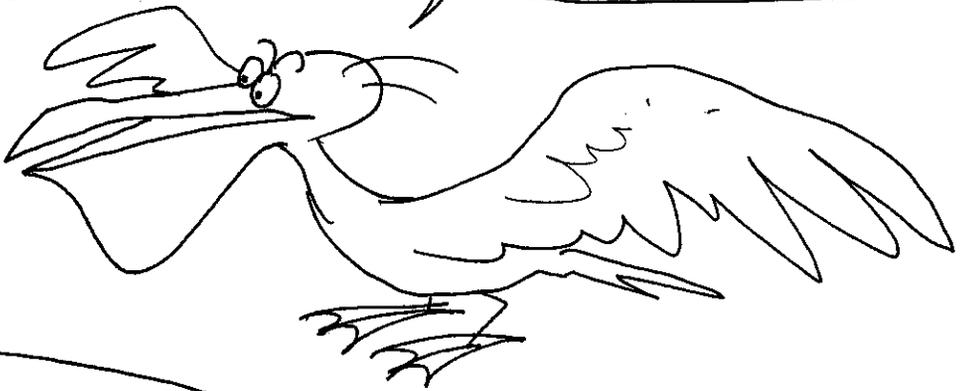


**I VORTICI D'ESTREMITA'** sono una fonte di perdita d'**ENERGIA**.



Siccome le estremità dell'ala provocano una notevole perdita energetica, non ci resta che toglierli e fare un'ala senza bordo.

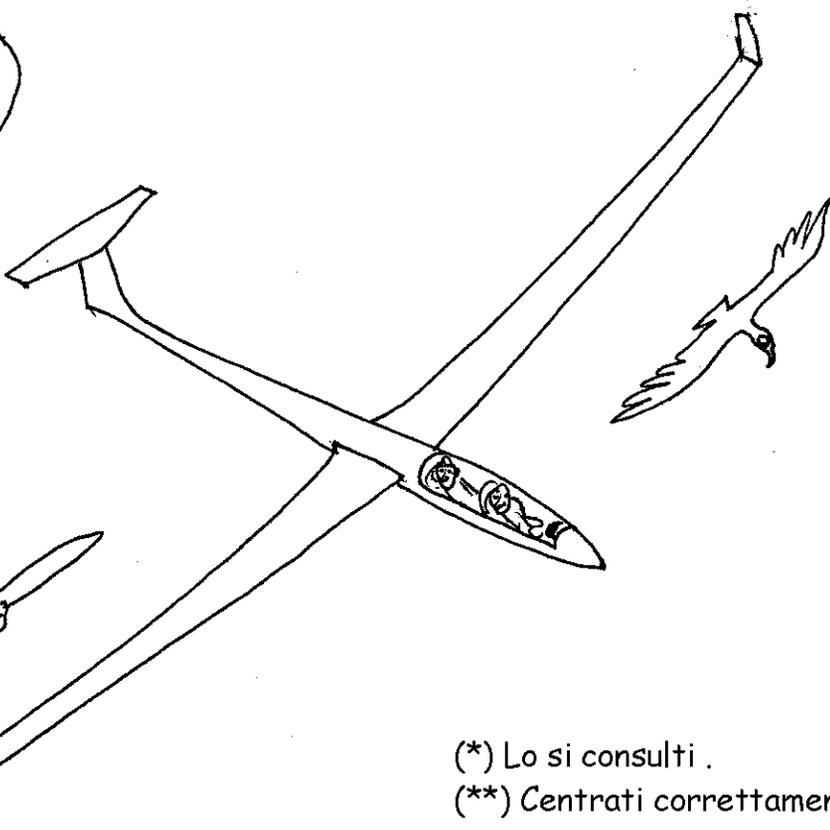
Tiresia, non dica sciocchezze. Un'ala senza bordo non esiste !!!



Invece si, esiste. Ed il mago Merlino l'ha descritta nell'album **CENERENTOLA 2000** alle pag 33 e 34 (\*). Queste ali volano inoltre molto bene (\*\*).

La seconda soluzione consiste nell'allungare le ali al massimo e minimizzare così queste perdite alle estremità.

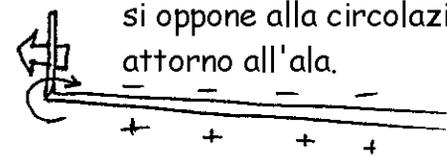
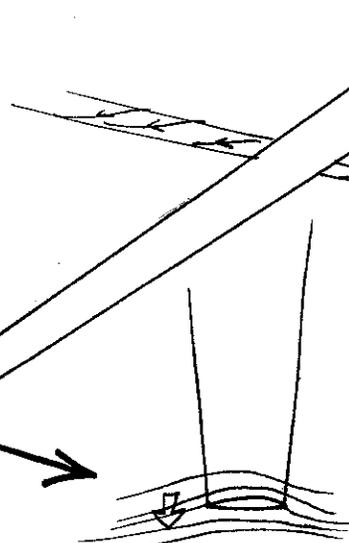
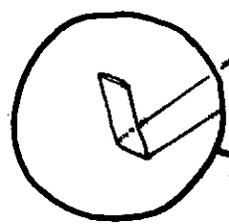
Perché mai le estremità delle ali sono ripiegate verso l'alto ?!?



(\*) Lo si consulti.  
(\*\*) Centrati correttamente.

# LE WINGLETS

schematicamente

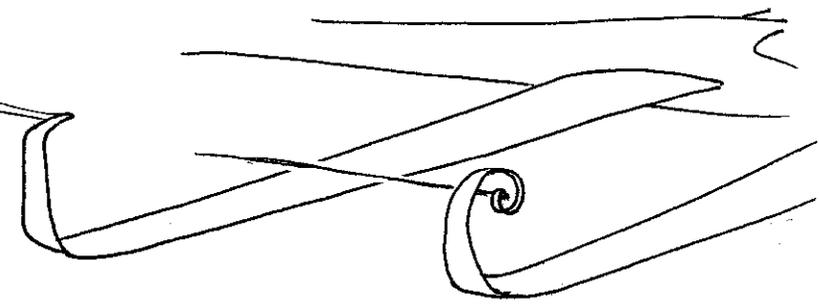


la velocità indotta dalla WINGLET si oppone alla circolazione dell'aria attorno all'ala.



Le **WINGLETS**, schematicamente, sono delle alette disposte perpendicolarmente all'ala principale, in modo tale che il loro profilo crei una (debole) **VELOCITA' INDOTTA** che si oppone alla circolazione dell'aria all'estremità dell'ala, dovuta alla differenza di pressione tra l'estradosso e l'intradosso : La winglet crea il proprio vortice d'estremità ma il vantaggio é talmente netto che quest'idea, che sarebbe potuta nascere un secolo fa, invade oggi progressivamente tutto il mondo dell'aeronautica.

Io ho inventato la (WINGLET)<sup>2</sup>.



Dalle prove che ho eseguito sui modellini, questo nuovo aliante, partendo da un dislivello  $h = 500$  metri, dovrebbe permetterci di raggiungere quella vasta radura che vedi laggiù, all'orizzonte, ad una distanza  $d = 20$  chilometri (\*).

Si parte ! Filo di lana al centro, velocità ideale per ottenere la **MASSIMA EFFICIENZA**.

Che discesa fantastica a 95 km/h.

Ho ottimizzato il tutto : lo spessore del profilo, piatto per avere una miglior penetrazione. Ho persino messo un carrello retrattile con una ruota. Ho pensato veramente a **TUTTO**. Nulla é lasciato al caso.

(\* ) Che corrisponde ad un'EFFICIENZA  $d/h = 40$ . Ma certi alianti superano 60 (pendenza : 1% in discesa).

Raccordo perfetto, o quasi. Faccio uscire il carrello.  
Ho evitato gli alberi all'inizio della pista con un'abilità da esperto.



Da lontano si vedevano appena.

Sofia, cosa succede? Stiamo andando completamente fuori pista!

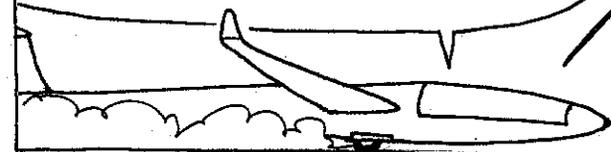


I tuoi alberi erano alti dieci metri, quindi la traiettoria si è allungata di 400 metri.

Eh si, hai ragione, rischiamo di non poter atterrare!

Comunque io freno al massimo!

Non troppo altrimenti ci ribaltiamo.



MUUH!

C'è mancato poco!

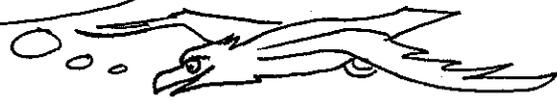


Uff! Ho avuto paura per la mucca!

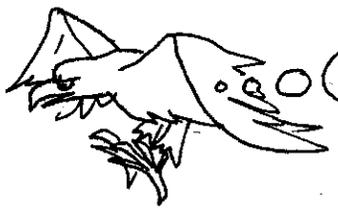
# AEROFRENI



Slurp... una carcassa sanguinolenta.



Riduco la mia efficienza.



Frenaggio aerodinamico.



Ma mamma, metti gli occhiali! Sono ancora degli spaghetti al pomodoro (\*).



(\*) Esperienza realmente vissuta dall'autore mentre era la guida di un safari nel Simba Camp del cratere Ngoro Ngoro in Tanzania..



Puoi creare un sistema da fissare alle ali che distrugga la portanza (SPOILER) su un'importante porzione della superficie alare, creando cosi' una forte resistenza che frena l'apparecchio. Cosi', a 100 km/h puoi scendere di 4 m/s, riducendo la tua efficienza a :  $\frac{28\text{m/s}}{4\text{m/s}} = 7 (**)$ .

(\*\*) Contro 0,5 - 1 m/s in volo normale (rispetto alla massa d'aria).

Si tratta di velocità relative rispetto a quella dell'aria. Con un vento frontale, la discesa ha una maggior inclinazione.



(\*\*) Valori simili a quelli dell'attuale "aliante scuola", sprovvisto di flaps, la cui efficienza è  $f \geq 30$ .

(\*) È stato provato su alcuni aerei negli anni trenta con scarso successo.